

## بررسی خصوصیات ژئومورفولوژی کارست زاگرس و مقایسه آن با مناطق آهکی ایران مرکزی

منوچهر چیت سازان

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

حسین کریمی وردنجانی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

عباس چرچی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

حاجی کریمی

دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۲۰

hkarimivardanjani@yahoo.com

### چکیده

این مطالعه در چند تاقدیس در محدوده زاگرس و ایران مرکزی به منظور شناسایی عوامل اصلی مؤثر بر ویژگی های کارستی انجام شده است. مطالعات در تاقدیس کینو، به عنوان معرف زاگرس، بسیاری از سیماهای کارستی مانند پولیه، آبروچاله، کارن، و غیره را نشان می دهد. به نظر می رسد فرورفتگی دریاچه شط تمی از نوع فرسایشی بوده و به عنوان یک پولیه هیدروولوژیکی در دوران مدرن عمل کند. چشم انداز کارست در ارتفاع بالا در تاقدیس کینو بسیار جهت دار است به طوری که مانند یک تپه بادی است که بنظر می رسد از زاویه ای معین پر شده است. در گذشته بسیاری از کنترل کننده های پرمافراست (لایه منجمد دائمی) ممکن است در اینجا وجود داشته زیرا شباهت هایی با برخی از مناظر در شمال کانادا در آنها وجود دارد. بنابراین ممکن است که پرمافراست (و یا حتی برخی کلاهک یخی ساخت شده) در طول دوره سرد کواترنر وجود داشته است. مطالعات ژئومورفولوژی تفاوت های آشکاری را بین سیماهای کارستی در کوههای شتری، ایران مرکزی و زاگرس نشان می دهد. در اینجا هیچگونه ویژگی های پیشرفته کارست مورفولوژیکی مانند پولیه ها و فروچاله ها وجود نداشته و دیگر سیماهای معمولی (کارن های شیاری، رانل کارن، و غیره) توسط سیماهای لانه زنبوری، کارن میکرواسپیتزو سیماهای مشابه جایگزین شده است. خلوص سنگ آهک در کوههای شتری مشابه زاگرس است و به همین جهت دلیل اصلی برای تفاوت های مورفولوژیکی را می توان به نوع و مقدار بارش، میان لایه های سنگی غیر کربناته و ضخامت طبقات کربناته نسبت داد.

**کلمات کلیدی:** ژئومورفولوژی کارست، فروچاله، کارن، پولیه، کارست نیوال.

### مقدمه

مقاله آمده است، عموماً به تقسیم بندی هایی اختصاص دارد که پدیده های کارستی را بر اساس نحوه ی تشکیل آنها طبقه بندی نموده اند. از طرف دیگر باید توجه داشت که نامگذاری هر کدام از آثار انحلالی در طبیعت می تواند تا حدی سلیقه ای نیز باشد. یکی از معتبرترین تقسیم بندی های اشکال کارستی، توسط وایت (White, 1988)، انجام شده است. وی اشکال کارستی را به دو دسته اصلی شامل اشکال سطحی و درونی تقسیم نموده است. در مقاله حاضر با تلفیق تقسیم بندی وی با سایر تقسیم بندی ها و تعاریف، از جمله تعاریف ارائه شده توسط فورد و ویلیامز (Ford and Williams, 2007) و همچنین با استفاده از نتایج مطالعات مختلف انجام شده در مورد زمین ریخت شناسی کارست، انواع اشکال کارستی در سازند های آهکی زاگرس و ایران مرکزی شرح داده شده و مورد مقایسه قرار می گیرند.

### معرفی محدوده های مورد مطالعه و روش کار

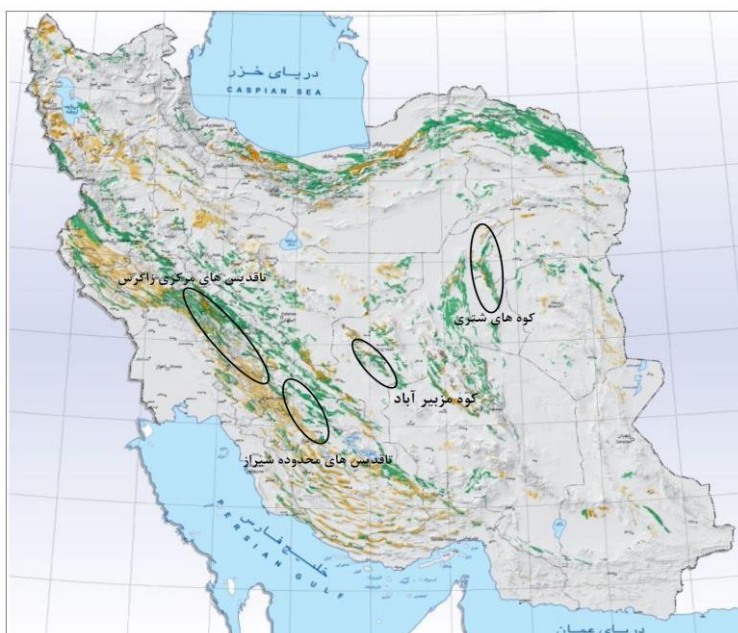
چنانکه در شکل (۱) مشاهده می شود، حدود ۱۰/۵ درصد از مساحت ایران توسط سازندهای کربناته پوشیده شده است (کریمی وردنجانی، ۱۳۹۴). بر این اساس قسمت عمده ای از مناطق آهکی ایران در زون زمین شناسی زاگرس و ایران مرکزی واقع شده اند. به منظور انجام مطالعه حاضر، ابتدا چندین تاقدیس اصلی زاگرس انتخاب گردیده و زمین ریخت شناسی کارست در آنها به دقت مورد مطالعه قرار گرفت. این بررسی ها در طی دهها بازدید صحرایی بین

شناخت پدیده های زمین ریخت شناسی ناشی از انحلال می تواند کمک قابل توجهی به شناخت سیستم های کارستی نماید. بدین جهت، زمین ریخت شناسی معمولاً یکی از اولین مراحل در مطالعات کارست را به خود اختصاص می دهد. با این وجود، علی رغم تلاش زیاد محققین کارست، باید اذعان نمود که تشخیص دلایل قطعی تشکیل هر کدام از انواع پدیده های کارستی، تقریباً غیر ممکن است. مهمترین دلیل این موضوع نقش عوامل متعدد در ایجاد این اشکال است. این عوامل شامل پارامترهای مختلف شیمیایی، سنگ شناسی، اقلیمی، هیدروولوژیکی، هواشناسی و... است. همچنین نقش جلبک های هوازی موجود بر روی سطح آهک را می توان از عوامل زیستی توسعه ای اشکال کارستی دانست (Youping et al., 2003).

با توجه به پیچیدگی پدیده های کارستی که خود ناشی از تعدد عوامل مؤثر بر آنها می باشد، محققین مختلف نظریات زیادی در مورد این پدیده ها ابراز نموده و به تبع آن تقسیم بندی های متفاوتی ارائه نموده اند. از طرف دیگر، تا کنون مطالعات بسیار اندکی در مورد معرفی سیماهای کارستی ایران انجام شده است. تفاوت های زیاد در پارامترهای مؤثر بر زمین ریخت شناسی کارست، نظیر مقدار بارش، ترکیب سنگ شناسی و ... نسبت به مناطقی از دنیا که نامگذاری اشکال کارستی بر اساس سیماهای همان مناطق انجام شده، لزوم انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه را مورد تأکید قرار میدهد. آنچه در این

انواع مختلف پدیده های انحرافی در ابعاد کوچک و بزرگ بوده و در نهایت اشکال معمول در زون زاگرس با مناطق ایران مرکزی مقایسه گردیده و دلایل تفاوت های به دست آمده مورد تحلیل قرار گرفت. علاوه بر مطالعات صحرایی، به منظور تفسیر دقیق تر نوع پولزه تمی در ارتفاعات تاقدیس کینو، تعداد ۵ نمونه آب از دریاچه تمی و چشمه های پایین دست آن و همچنین یک نمونه برف در ارتفاع حدود ۲۳۰۰ متر از سطح دریا برداشت و جهت آنالیز به آزمایشگاه انستیتو علوم مجارستان ارسال گردید. از نتایج آنالیزهای ایزوتوپی چشمه های تاقدیس شتری نیز که توسط سازمان توسعه برق ایران انجام شده (چیت سازان و همکاران، ۱۳۹۲)، جهت بررسی نقش ضخامت خاک در نوع اشکال انحرافی استفاده گردید. همچنین جهت بررسی و مقایسه ترکیب سنگ شناسی سازندهای مورد مطالعه، از هر کدام از سازندهای آسماری، سروک، شتری، اسفندیار و جمال یک نمونه سنگ برداشت و مورد آنالیز کامل قرار گرفت.

سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ و در قالب طرح های مختلف مطالعاتی انجام شده و در برخی موارد جهت دسترسی به مناطق صعب العبور (نظیر ارتفاعات تاقدیس منگشت) از بالگرد نیز استفاده گردیده است. تاقدیس های مورد مطالعه شامل تاقدیس احمدی و باباکوهی (استان فارس)، تاقدیس های ریگ، لکی، شوروم، بهلش و زراب (استان چهارمحال و بختیاری)، تاقدیس سیاه (استان کهگیلویه و بویراحمد)، تاقدیس های سفید، منگشت، کمردراز، شلویش، تنوش، پیون، کینو و لیلا (استان خوزستان) می باشند. از بین این تاقدیس ها، تاقدیس کینو در مرز استان خوزستان و چهارمحال و بختیاری به عنوان نماینده تاقدیس های زاگرس با تفصیل بیشتری مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تاقدیس شتری در استان خراسان جنوبی که سنگ های کربناته آن عموماً شامل سازندهای اسفندیار، شتری و جمال می باشد و تاقدیس مزبیر آباد در مجاورت شهر مهریز یزد که شامل سازند تفت به سن کرتاسه می باشد، به عنوان نماینده ایران مرکزی مورد بررسی کامل قرار گرفتند. این مطالعه شامل شناسایی و نام گذاری



شکل ۱. پراکنندگی سازندهای کربناته ایران (سازمان زمین شناسی) و موقعیت مناطق مورد مطالعه

انحرافی می باشند که در ادامه مورد بحث قرار گرفته است:

(۱) پولزه: پولزه در تعریف، یک افتادگی بزرگ در درون سازندهای کارستی است که به صورت دشت در آمده است. محدوده دریاچه تمی در ارتفاعات تاقدیس کینو از لحاظ نحوه تشکیل می تواند ناشی از زمین لغزشی بزرگ باشد و به علت قرار گرفتن در بین ارتفاعات آهکی (سازند سروک) یک پولزه کارستی محسوب می گردد (شکل ۲). ورودی این دریاچه که دارای ابعاد حدود ۱/۵ در ۱ کیلومتر می باشد، از طریق ذوب برف بوده و خروج آن ظاهراً از طریق حفرات موجود در انتهای شمالی آن به آهستگی صورت می پذیرد. با این وجود هر چند هدایت الکتریکی این دریاچه اندک است ( $133 \mu S/cm$ ) در تاریخ هفتم خرداد ۱۳۹۳) لیکن با توجه به غنی شدگی ایزوتوپی شدید آب این دریاچه در فصل ذوب برف به نظر میرسد تخییر نقش اساسی در بیان آبی این دریاچه داشته و تخلیه آب از طریق خروجی های زیرزمینی اندک می باشد. لذا دریاچه مزبور تقریباً به صورت یک سیستم بسته عمل می نماید. میزان دلتای اکسیژن-۱۸ و دوتریوم در نمونه برداشته شده از این دریاچه با نمونه های برداشت شده از چشمه های اطراف مقایسه و نتایج در جدول (۱) ارائه شده است.

## بحث

### زاگرس

عمده ترین سازندهای آهکی زون زمین شناسی زاگرس به ترتیب سنی شامل فهلیان-داریان، ایلام-سروک، تارپور و آسماری-چهرم، می باشند که در تاقدیس های مورد مطالعه در تحقیق حاضر نیز مهمترین سیماها و آبخوان های کارستی را ایجاد نموده اند. در ادامه، ابتدا زمین ریخت شناسی کارست تاقدیس کینو که به دلیل طول زیاد، تنوع زیاد اشکال انحرافی و تعدد بازدید ها و آنالیزهای انجام شده به عنوان نماینده زاگرس انتخاب شده، تشریح گردیده و سپس خلاصه ای از وضعیت سایر تاقدیس های زاگرس که اسامی آنها در بخش مقدمه ذکر شد، ارائه می شود.

الف- تاقدیس کینو: تاقدیس کینو به طول حدود ۱۴۰ کیلومتر در شمال شرق استان خوزستان و حد فاصل این استان با استانهای چهارمحال و بختیاری و لرستان قرار دارد. از لحاظ زمین شناسی این تاقدیس عموماً شامل سازندهای آهکی آسماری و سروک و همچنین سازند شیلی-مارنی گرو می باشد. سنگ های کربناته این تاقدیس شامل پدیده های متعددی از زمین ریخت شناسی

۳) کارن: انواع متعددی از کارن ها در سازندهای آسماری و سروک در تاقدیس کینو دیده می شود که بعضاً از لحاظ ابعاد کم نظیرند. رونل کارن های موجود در ارتفاعات تاراز را می توان به لحاظ اندازه مگا رونل کارن نامید (شکل ۶). همچنین سطوح کم شیب تر این تاقدیس سرشار از ریل کارن (شکل ۷)، چاله های باران (rain pit)، تونل و حفرات متعدد می باشد.

۴) غارچه: تعداد زیادی غارچه در ارتفاعات مختلف این تاقدیس دیده می شود لیکن تا کنون غار بزرگی در آن شناسایی نشده است. این امر احتمالاً ناشی از طبیعت فعال زون زمین ساختی زاگرس است، به گونه ای که افزایش مداوم ارتفاع و تغییر سطوح اساس باعث گردیده است که توسعه غارها به تناوب در ترازهای متوالی صورت پذیرد.

۲) سینک هول (دولین): ارتفاعات مشرف به دریاچه تمی در تاقدیس کینو شامل تعداد زیادی سینک هول می باشد که از لحاظ تراکم در ایران کم نظیر است. شکل گیری این سینک هول ها به لحاظ عملکرد یخچال ها در دوران های یخچالی کوتاهتری حالتی شبیه به تپه های ماسه ای و جهت یافته به خود گرفته که نمونه آن در دیگر مناطق دنیا گزارش نشده است (اشکال ۳، ۴ و ۵). سینک هول های مشاهده شده در تاقدیس کینو عموماً از نوع انحلالی و با مکانیسم ورود متمرکز آب از یک نقطه (Point recharge) ایجاد شده اند. این ویژگی در تمامی سینک هول های زاگرس کم و بیش قابل مشاهده بوده و متمایز کننده این سینک هول ها از سینک هول های ایران مرکزی است که اکثراً از طریق رمبش (Collapse) ایجاد شده اند.

جدول ۱. مقایسه نتایج آنالیز ایزوتوپ های اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در دریاچه تمی و منابع آبی اطراف آن

| ردیف | نام منبع آبی | تاریخ برداشت نمونه | هدایت الکتریکی (μS/cm) | δD‰    | δ <sup>18</sup> O‰ |
|------|--------------|--------------------|------------------------|--------|--------------------|
| ۱    | دریاچه تمی   | ۹۳/۳/۷             | ۱۳۳                    | ۰/۶    | -۰/۵۳              |
| ۲    | چشمه اناران  | ۹۳/۳/۷             | ۱۹۶                    | -۳۳/۸  | -۶/۹۱              |
| ۳    | چشمه تنگ سرد | ۹۲/۳/۲۹            | ۲۲۹                    | -۲۵/۱۶ | -۵/۸۳              |
| ۴    | چشمه آب گندو | ۹۳/۳/۷             | ۱۰۶۰                   | -۲۵/۳  | -۵/۲۳              |
| ۵    | چشمه دره کول | ۹۲/۴/۳۹            | ۱۴۷                    | -۲۴/۸  | -۵/۶۹              |
| ۶    | برف          | ۹۱/۱۲/۳            | ۵۹                     | -۳۳/۸۷ | -۶/۴۸              |

تقسیم بندی می باشند. در تاقدیس های محدوده استان های خوزستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، سیماهای شاخص تاقدیس کینو کم و بیش قابل مشاهده اند. وجود سینک هول های متعدد در ارتفاعات تاقدیس های منگشت، زرآب و کوه سفید از این نوع است. همچنین پولیه های ایذه (مجاور تاقدیس پیون)، سیروک (ارتفاعات تاقدیس منگشت)، لاغرک (تاقدیس زرآب)، چاله منار (منطقه شیمبار) را می توان شاهدی بر تشابه نسبی این مناطق دانست. در استان فارس، مناطق شمالی تر (نظیر تاقدیس های احمدی، دراک، باباکوهی) هر چند شامل انواع مختلف کارن هستند، لیکن تقریباً فاقد پدیده های پیشرفته کارستی نظیر سینک هول و پولیه است. در حالیکه چنین پدیده هایی را می توان در اطراف شهرهای سپیدان، نورآباد ممسنی و کازرون به خوبی مشاهده نمود.

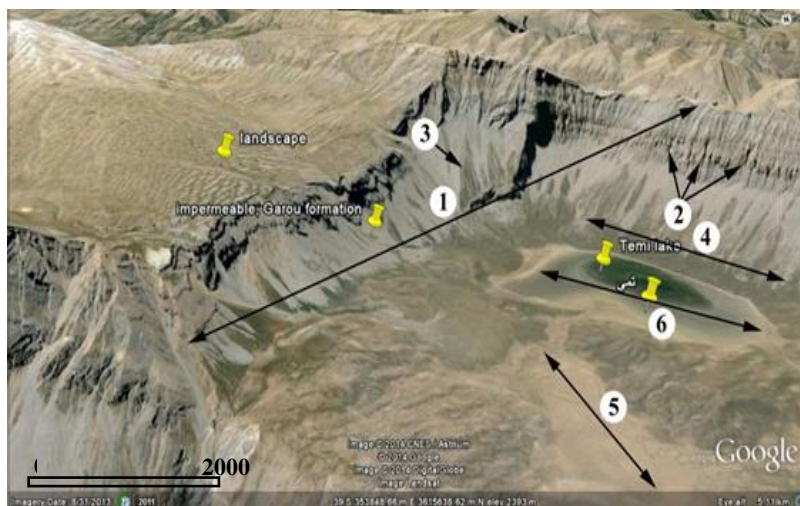
۵) سایر پدیده های زمین ریخت شناسی: به غیر از اشکال فوق الذکر، پدیده های متعدد ریخت شناسی در محدوده تاقدیس کینو، مخصوصاً در محدوده دریاچه تمی و ارتفاعات مشرف به آن شناسایی گردیده است. چنانکه در بخش سینک هول ها نیز ذکر شد، در ارتفاعات کاملاً برفگیر تاقدیس کینو، نوع خاصی از توپوگرافی کارستی نیز دیده می شود که در منابع مربوط به زمین ریخت شناسی کارست به آن اشاره ای نشده است. این نوع از توپوگرافی حالتی شبیه به ماسه های بیابانی داشته و به سمت حرکت یخچال جهت یافتگی دارد. پدیده های ریخت شناسی دریاچه تمی با رویکرد عملکرد یخچالی در اشکال (۳) و (۴) و (۵) به اختصار ارائه شده است.

### سایر تاقدیس های مورد مطالعه در زون زاگرس

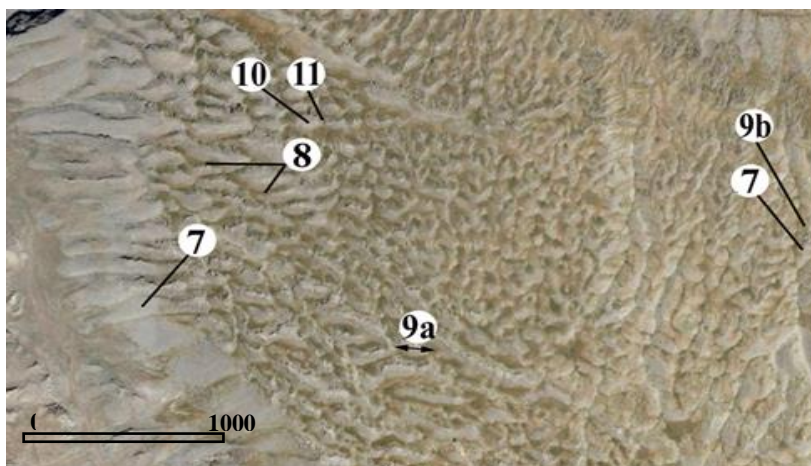
چنانکه در بخش روش کار ذکر شد، علاوه بر تاقدیس کینو، چندین تاقدیس آهکی دیگر در زون زاگرس مورد بررسی قرار گرفت که خود در دو دسته قابل



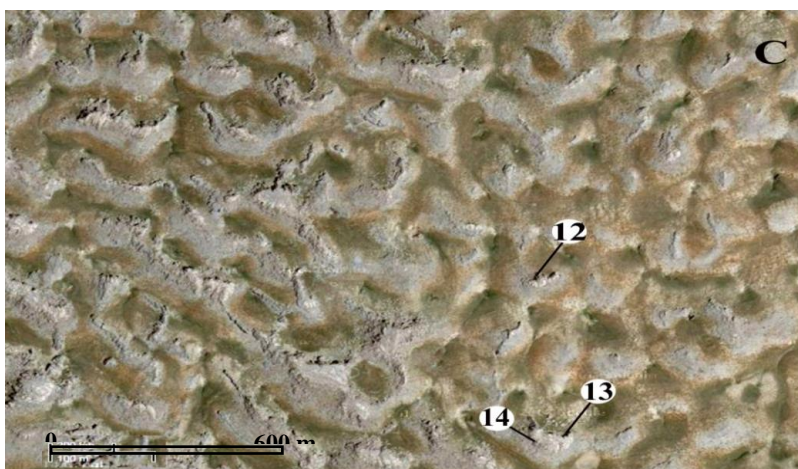
شکل ۲. دریاچه تمی، دید به سمت جنوب غرب



شکل ۳. تصویر ماهواره ای دریاچه تمی و ارتفاعات مشرف به آن. پدیده های سطحی مشاهده شده به شرح زیر نامگذاری شده است:  
 ۱- سیرک یخچالی (cirque) ۲- تنگه (gorge) ۳- مخروط افکنه ۴- دامنه واریزه ای ۵- سندر (sandr)، دشتی که در اثر تجمع مواد یخچالی شامل مورن های ریزدانه تشکیل می شود. ۶- حوزه سنگی



شکل ۴. تصویر هوایی از سطح آهک سروک در ارتفاع ۳۰۰۰ متری تاقدیس کینو در محدوده مشرف به دریاچه تمی. پدیده های مشاهده شده در این محدوده به شرح زیر نامگذاری شده است: ۷- ایجاد جویبار بر روی مورن ها، ۸- لبه های چند وجهی (polygonal) مورن، ۹a- دولین اشباع در یک سطح تخت، ۹b- دولین اشباع بر روی جویبار ۱۰- کف یک دولین، ۱۱- دولین اشباع بر روی برآمدگی ایجاد شده بین دو دولین



شکل ۵. جهت یافتگی سینک هول ها در ارتفاعات کینو، پدیده های سطحی مشاهده شده به شرح زیر است: ۱۲- دولین های کوچک اشباع یا رها شده (dropout doline)، ۱۳- دولین رها شده، ۱۴- گذرگاه



شکل ۶. مگا رونل کارن در منطقه تاراز، تاکدیس کینو



شکل ۷. ایجاد ریل کارن بر دیواره های رونل کارن، در ابتدا رونل ها در زیر سطح خاک تشکیل شده اند و پس از خروج سنگ از زیر خاک (در اثر فرسایش)، ریل کارن ایجاد شده است، تاکدیس کینو.

### ایران مرکزی

از بین آهک های ایران مرکزی، کوه های شتری در محدوده استان خراسان جنوبی و کوه مزبیر آباد در محدوده شهرستان مهریز مورد بررسی قرار گرفته اند که در ادامه مورد بحث قرار گرفته اند.

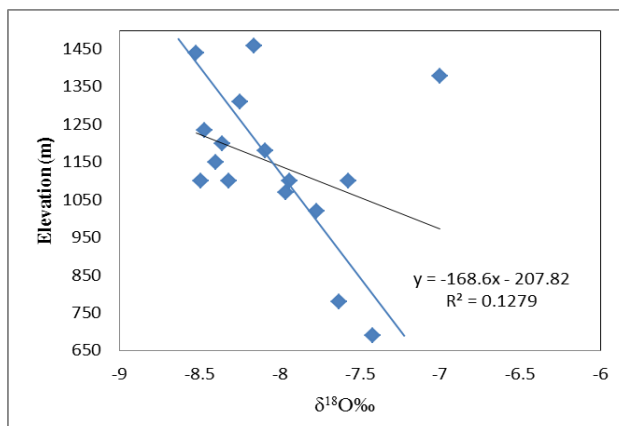
### الف: کوه های شتری

کوه های شتری که بین دو شهر طبس در غرب و بشرویه در شرق قرار دارند، شامل سه سازند آهکی اسفندیار، جمال و شتری می باشند. بخشی از سازند شتری تحت عنوان آهک اسپهک نامگذاری شده است. بارش این ناحیه اندک و بین حدود ۵۰ تا حداکثر ۲۰۰ میلیمتر در سال در ارتفاعات مختلف متغیر است. بر همین اساس علی رغم وسعت زیاد، چشمه های موجود در این تاکدیس عموماً کم آب می باشند به طوریکه بزرگترین چشمه، تحت عنوان چشمه قنبر با آبدهی متوسط حدود ۱۰۰ لیتر بر ثانیه از سازند اسفندیار خارج می شود.

تعدد چشمه ها از طرفی و خروج بسیاری از آنها از ارتفاعات زیاد می تواند نشان دهنده عدم توسعه کارست در این ناحیه باشد. علاوه بر این، عدم وجود سیماهای پیشرفته زمین ریخت شناسی کارست نظیر سینک هول و پولیه نیز مؤید همین امر است. بازدیدهای صحرایی متعدد در سطوح آهک، منجر به شناسائی اشکال زمین ریخت شناسی تیپیک نواحی کارستی نظیر ریل کارن و رونل کارن نگردید. شیب نسبتاً کم کوههای شتری در ارتفاعات باعث شده است که لایه نسبتاً ضخیمی از خاک در بسیاری از نقاط بر روی آهک تشکیل گردد. عمل انحلال در زیر این سطوح منجر به ایجاد اشکال چاله-تونل یا لانه زنبوری در ابعاد کوچک گردیده است. اثر وجود خاک و نفوذ آب از خلال آن به درون آهک را می توان در ترکیب ایزوتوپی چشمه ها نیز مشاهده نمود. بررسی میزان  $^{18}\text{O}$  در مقابل ارتفاع (شکل ۸) نشان می دهد که افزایش ارتفاع منابع آبی تاکدیس شتری باعث کاسته شدن از  $^{18}\text{O}$  شده است که این امر ناشی از اثر ارتفاع در تهی شدگی ایزوتوپی است. در واقع با افزایش ارتفاع، ایزوتوپ های

بیشتری در آب نفوذ یافته صورت پذیرفته و در نتیجه دارای ایزوتوپ های سنگین بیشتری می باشد.

سنگین به تدریج و با سرعت بیشتری نسبت به ایزوتوپ های سبک خارج شده و در نتیجه در ارتفاعات بیشتر باران باریده شده دارای مقادیر کمتری از  $^{18}\text{O}$  خواهد بود. این امر در مورد چشمه قنبر که بیشترین مساحت حوضه آبرگیر را دارد، صادق نیست، به نظر می رسد از آنجا که ارتفاعات تغذیه کننده این چشمه عموماً دارای شیب پایین و ضخامت خاک بیشتری می باشند، تبخیر



شکل ۸. نمودار ارتباط  $^{18}\text{O}$  و ارتفاع در چشمه های تاقدیس شتری

تا کمتر از ۲۰۰ میلیمتر در کوه های شتری متغیر است. لذا تفاوت های اشکال در این دو ناحیه را می توان تا حدی به میزان بارش نسبت داد. با این وجود تشابه نسبی اشکال کوچک مقیاس کارستی (کارن ها) در مناطق آهکی زاگرس اعم از مناطق پر باران و کم باران، این موضوع را تا حدود زیادی نفی می کند. به عنوان مثال انواع کارن مشاهده شده در مناطق کم بارانی نظیر تاقدیس احمدی در شهرستان خرامه استان فارس (با بارشی کمتر از ۲۵۰ میلیمتر در سال) می تواند مؤید عدم تأثیر میزان بارش به عنوان یک فاکتور کلیدی باشد. در این باره شاید بتوان محیط های اقلیمی گذشته را در تعیین نوع کارن های مشاهده شده دخیل دانست و یا حد مشخصی از بارش را به عنوان ابتدای شروع تشکیل کارن ها معرفی نمود که پس از این حد، تغییر زیادی در تشکیل کارن ها ایجاد نمی گردد. از طرف دیگر باید توجه داشت که هر چند در کوه های شتری پدیده های پیشرفته تری نظیر سینک هول مشاهده نشده است، لیکن به دلیل مشاهده این گونه اشکال در برخی نواحی ایران مرکزی، نمی توان کاهش بارش را مستقیماً به تعداد سینک هول ها نسبت داد. با این وجود بر اساس مشاهدات انجام شده می توان میزان بارش را یکی از عوامل افزایش تعداد سینک هول ها در هر ناحیه دانست سینک هول های مشاهده شده در ارتفاعات تاقدیس های کینو، منگشت، سیاه و زراب عموماً از نوع انحلالی و با مکانیسم ورود متمرکز آب از یک نقطه (Point recharge) ایجاد شده اند. در این حالت یک مانع طبیعی باعث ورود آب به درز و شکاف های لایه های آهکی زیرین می گردد. این آب ممکن است از مسیرهای مختلفی حرکت کند، اما یک مسیر که مقاومت کمتری دارد آب بیشتری را از خود عبور خواهد داد. انحلال در طول زمان باعث عریض شدن مسیر شده و با راهیابی آب سایر مسیرها به مسیر عریض شده، در طول زمان یک سینک هول ایجاد خواهد گردید. این ویژگی متمایز کننده این سینک هول ها از سینک هول های ایران مرکزی، نظیر سینک هول های ایجاد شده در منطقه ابرکوه است که اکثراً از طریق رمبش (Collapse) ایجاد شده اند. مشخصه اینگونه سینک هول ها شیب بیشتر دیواره ها می باشد. مقایسه ای بین سینک هول های زاگرس و ایران مرکزی در شکل (۱۰) و برخی اشکال انحلالی در ایران مرکزی در شکل های (۹) و (۱۱) نشان داده شده است.

## ب: کوه مزبیر آباد

کوه مزبیر آباد که عمدتاً شامل آهک های سازند تفت (کرتاسه) می باشد در جنوب و غرب شهرستان مهریز قرار دارد. مهمترین عارضه کارستی این کوه، چشمه فصلی غربالیز است. این چشمه که در فصل بهار تا بیش از ۵۰۰ لیتر بر ثانیه آبدهی دارد، در اواخر تابستان کاملاً خشک می گردد. عدم وجود جریان پایه را می توان به توسعه اندک کارست و رژیم عمدتاً درز و شکافی در سیستم کارستی آن نسبت داد. با این وجود، مخصوصاً در حوالی چشمه می توان اشکال کارستی مشابه با برخی نواحی زاگرس از جمله ریل کارن و کارن های چاله تونل را مشاهده نمود (شکل ۹). اشکال پیشرفته کارستی نظیر سینک هول های انحلالی در این ناحیه نیز دیده نمی شود، لیکن در نواحی مجاور، به عنوان مثال مجاور شهر تفت و مجاور جاده سورمق-ابرکوه، سینک هول های رمبشی مشاهده می گردد.

## عوامل مؤثر در ایجاد پدیده های سطحی مورد مطالعه

با توجه به نوع و فراوانی اشکال سطحی مشاهده شده در تاقدیس های مورد مطالعه و همچنین بررسی شرایط مختلف محیطی در هر کدام از آنها می توان در مورد دلایل اختلافات موجود اظهار نظر نمود. تشکیل انواع مختلف پدیده های سطحی کارست عمدتاً ناشی از عواملی نظیر میزان بارش، نوع بارش، سنگ شناسی، لایه بندی، شیب زمین و ارتفاع می باشد. تفکیک پدیده های مختلف بر اساس میزان هر کدام از عوامل مزبور به دلیل تداخل هر کدام از این انواع در چند محدوده و عملکرد توأمان پارامترهای مختلف، امکانپذیر نیست. با این وجود بر اساس انواع غالب اشکال سطحی و فراوانی آنها می توان به طور کیفی نقش هر کدام از عوامل فوق الذکر و تأثیر آن را بر زمین ریخت شناسی کارست ناحیه مرتبط با خود مورد ارزیابی قرار داد.

۱) میزان بارش: وجود آب فاکتور کلیدی جهت توسعه کارست در هر ناحیه است (Kranjc, 2010). طبیعی است با توجه به پراکنش بسیار متفاوت میزان بارش در مناطق آهکی ایران، انتظار بر این باشد که هر کدام از این نواحی پدیده های مختلفی را نشان دهد. میزان بارش در مناطق آهکی ایران از بیش از ۱۵۰۰ میلیمتر در سال در برخی تاقدیس های زاگرس نظیر کینو، زراب و بهلس



شکل ۹. کارن های چاله - تونل (سمت راست) و ریل کارن (سمت چپ)، آهک های کرتاسه در مجاورت چشمه غربالبیز مهریز

همراه شیب زمین در تشکیل پدیده های رخنمون یافته در مناطقی از تاقدیس ها که بارش در آنها عمدتاً به صورت برف است دخیل دانست. از طرف دیگر تشابه نسبی اشکال انحلالی در آهک های ایران مرکزی با اشکال مشاهده شده در کارست نیوال، این ایده را تقویت می نماید که برف از آن جهت می تواند نوع خاصی از اشکال را ایجاد نماید که ذوب تدریجی آن باعث ایجاد رواناب های شدید و مداوم نمی گردد، لذا در مناطق بیابانی که بارش ها اندک بوده و میزان رواناب آنها نسبت به کل زمان سال اندک است، اشکال تقریباً مشابهی ایجاد میگردد.

۲) ارتفاع رخنمون آهک و نوع بارش: عامل ارتفاع که منجر به تغییر نوع بارش در مناطق مختلف آهکی میگردد، به صورت مشخص در نوع زمین ریخت شناسی کارست مؤثر است. در مناطقی که بارش عموماً به شکل باران است، پدیده های کوچک مقیاس نظیر انواع کارن های ناشی از حرکت آب به وفور دیده می شود، لیکن این گونه پدیده ها در مناطق مرتفع تری که بارش آنها عمدتاً به صورت برف است با پدیده های دیگری نظیر انواع پیناکل ها، تونل ها و پدیده های بزرگ مقیاس نظیر سینک هول و پولزه جایگزین شده است. چنین پدیده هایی در اصطلاح تحت عنوان کارست یخی (Nival Karst) نامگذاری می شوند. بر همین اساس، می توان عامل ارتفاع و نوع بارش را به



شکل ۱۰. مقایسه یک سینک هول انحلالی در سازند آسماری (راست) و رمبشی در آهک های کرتاسه ابرکوه (چپ)

پیناکل ها و آثار مشابه با قطرات باران می گردد. از آنجا که معمولاً شیب کم در دشت های موجود در ارتفاعات تاقدیس های زاگرس دیده می شود، تلفیق شیب کم به همراه نوع بارش در این نواحی، ایجاد توپوگرافی خاصی را می نماید که تحت عنوان کارست نیوال شناخته می شود

۳) شیب توپوگرافی: شیب توپوگرافی یکی از مهمترین عوامل در توسعه انواع اشکال کارستی می باشد. در شیب های زیاد جریان آب دارای سرعت بیشتری بوده و از طرف دیگر سنگ آهک لخت می باشد. این شرایط مستعد ایجاد کارن های شیاری می باشد. در شیب های کمتر جریان ملایم آب به همراه وجود پوشش خاک و پوشش گیاهی باعث تشکیل کارن هایی از نوع چاله - تونل،



شکل ۱۱. نمونه ای از سیماهای کارستی سازند اسفندیار در تاقدیس شتری (پیناکل معکوس در سمت راست و اشکال لانه زنبوری در سمت چپ).

می توان به میان لایه های موجود در این سازندها نسبت داد. در واقع به نظر می رسد در بحث سنگ شناسی، آنچه در تعیین انواع پدیده های سطحی مهمتر است، جنس میان لایه ها و ضخامت لایه های آهکی است. پدیده های ریختاری بزرگ مقیاس نظیر غار و سینک هول معمولاً در آهک های ضخیم لایه و بدون میان لایه های مارنی و شیلی ایجاد می شوند.

۴) سنگ شناسی: سنگ شناسی، به لحاظ میزان خلوص آهک می تواند به عنوان یک عامل تعیین کننده در توسعه سطحی کارست مد نظر قرار گیرد. با این وجود انجام آزمایشات سنگ شناسی در چند نمونه آهک از سازندهای آسماری، سروک، اسفندیار، جمال و شتری نشان دهنده تفاوت معنی داری بین میزان  $\text{CaO}$  و  $\text{MgO}$  در آنها نمی باشد (جدول ۲). با این وجود تفاوت قابل ملاحظه نسبت  $\text{Ca/Mg}$  در چشمه های خارج شده از سازندهای مزبور را

جدول ۲. مقایسه ترکیب سنگ شناسی آهک های سازند های ایران مرکزی و زاگرس

| ردیف |                         | سازند شتری<br>کوه های شتری | سازند اسفندیار<br>کوه های شتری | سازند جمال<br>کوه های شتری | سازند سروک<br>تاقدیس کینو | سازند آسماری<br>تاقدیس کینو |
|------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| ۱    | $\text{SiO}_2$          | ۱/۹۲                       | ۰/۹۶                           | ۰/۸۲                       | n.d                       | ۱/۰۶                        |
| ۲    | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | ۰/۳۱                       | ۰/۲۷                           | ۰/۰۹                       | ۰/۱۱                      | n.d                         |
| ۳    | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | ۱/۷۸                       | ۰/۳۸                           | ۰/۲۱                       | ۰/۳۳                      | ۰/۲۴                        |
| ۴    | $\text{CaO}$            | ۵۳/۶۹                      | ۵۵/۰۴                          | ۵۵/۳۵                      | ۵۵/۶۴                     | ۵۴/۶۵                       |
| ۵    | $\text{MgO}$            | <۰/۱                       | <۰/۱                           | <۰/۱                       | ۰/۳۵                      | ۰/۳۹                        |
| ۶    | $\text{P}_2\text{O}_5$  | ۰/۰۸                       | ۰/۱                            | ۰/۰۳                       | ۰/۱۷                      | ۰/۱۸                        |
| ۷    | $\text{MnO}$            | ۰/۰۱                       | ۰/۰۰۴                          | ۰/۰۱                       | ۰/۰۰۲                     | ۰/۰۰۷                       |
| ۸    | $\text{Na}_2\text{O}$   | ۰/۰۳                       | ۰/۰۱                           | ۰/۲                        | ۰/۵۶                      | ۰/۵۶                        |
| ۹    | $\text{K}_2\text{O}$    | ۰/۱۳                       | ۰/۰۲                           | ۰/۰۰۷                      | ۰/۰۸                      | ۰/۰۵                        |
| ۱۰   | L.O.I                   | ۴۱/۶۴                      | ۴۲/۸                           | ۴۲/۷۱                      | ۴۱/۹۹                     | ۴۱/۵۹                       |
| ۱۱   | $\text{TiO}_2$          | ۰/۰۳                       | ۰/۰۳                           | ۰/۰۲                       | ۰/۰۴۶                     | ۰/۰۴                        |

... به شدت بر توسعه کارست سطحی مؤثر است. عدم وجود اشکال شیری در آهک های تاقدیس شتری تا حدی مربوط به این موضوع است.

۲- میزان بارش بر اشکال کوچک مقیاس و اشکالی که مرتبط با زهکشی آب سطحی یا زیرزمینی نیستند، تأثیر کمتری دارد، به طوری که اشکال مزبور شامل ریل کارن، روتل کارن و حتی برج (Tower) با فراوانی مختلف در محدوده بارش های مختلف از ۲۵۰ تا ۱۵۰۰ میلیمتر قابل مشاهده است. لیکن اشکال بزرگ مقیاس ناشی از زهکشی را عموماً در مناطق پر بارش می توان مشاهده نمود.

### نتیجه گیری

خلاصه ای از شرایط تاقدیس های اصلی مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس پدیده های مشاهده شده در هر ناحیه و شرایط حاکم بر ایجاد آنها عوامل اصلی تفاوت ریخت شناسی کارست در نواحی مختلف را می توان به شرح زیر خلاصه نمود:

۱- ترکیب سنگ شناسی آهک های سروک، آسماری، شتری، جمال و اسفندیار تأثیر قابل ملاحظه ای در نوع اشکال مشاهده شده ندارد، لیکن میان لایه ها و ترکیبات موضعی هر آهک، نظیر نودول های آهن، ترکیبات سیلیسی و



زمین ریخت شناسی کارستی است که بعضاً در دنیا کم نظیر است. ایجاد این پدیده ها را می توان به عملکرد تلفیقی بارش سنگین، نوع بارش (برف) و فعالیت های یخچالی نسبت داد. با این وجود نقش حضور سازند فرسایش پذیر گرو در زیر سازند سروک را نیز نمی توان در افزایش پتانسیل لغزش و ایجاد مهمترین عارضه ریخت شناسی این ناقدیس یعنی دریاچه تمی نادیده گرفت. زمین لغزش بزرگ سال ۱۳۷۵ در منطقه لید که باعث مدفون شدن روستای آبیکار (۱۲ کیلومتری جنوب شرق دریاچه تمی) گردید، مؤید این مطلب است.

۳- در مناطق مرتفع زاگرس که برف گیر و دارای شیب کم می باشند، نوع اشکال کارستی با مناطق دیگر همین منطقه به کلی متفاوت بوده و مناظر جدیدی را ایجاد می نماید که کارست نیوال نامیده می شود. برخی شباهت ها بین این مناظر و مناطق ایران مرکزی ناشی از تشابه آنها در رواناب اندک و همچنین تأثیر احتمالی هوازدگی فیزیکی ناشی از کاهش دما می باشد.

۴- سیستم کارستی سازند سروک در ناقدیس کینو یکی از پیشرفته ترین سیستم های کارستی مشاهده شده در ایران بوده و شامل انواع پدیده های

جدول ۳. خلاصه شرایط ژئومورفولوژی کارست در ناقدیس های مورد مطالعه

| ردیف | نام ناقدیس | میزان بارش سالیانه | استان             | سازند های آهکی      | پدیده های غالب   |
|------|------------|--------------------|-------------------|---------------------|--|
| ۱    | کینو       | ۸۰۰-۱۵۰۰           | خوزستان- چهارمحال | آسماری- سروک        | انواع ریل کارن، رونل کارن، حفرات و تونل - سینک هول   |
| ۲    | زراب       | ۱۰۰۰-۱۵۰۰          | چهارمحال          | آسماری              | سینک هول، کارن های چاله تونل، پیناکل، پولزه  |
| ۳    | بهلش       | ۱۰۰۰-۱۵۰۰          | چهارمحال          | آسماری              | سینک هول، کارن های چاله تونل، پیناکل، غارچه  |
| ۴    | ریگ        | ۷۰۰-۱۰۰۰           | چهارمحال          | آسماری              | انواع کارن های شیاری در ارتفاعات پایین و پیناکل در ارتفاعات بالا   |
| ۵    | سفید       | ۷۰۰-۱۰۰۰           | خوزستان           | سروک                | انواع کارن های شیاری در ارتفاعات پایین، چاله و حفرات، سینک هول و پیناکل در ارتفاعات بالا   |
| ۶    | پیون       | ۷۰۰-۱۰۰۰           | خوزستان           | سروک                | انواع ریل کارن و رونل کارن در ارتفاعات پایین و پر شیب، حفرات و کارن های چاله و تونل در ارتفاعات بالا و کم شیب                          |
| ۷    | منگشت      | ۷۰۰-۱۰۰۰           | خوزستان- کهگیلویه | آسماری- سروک        | انواع ریل کارن و رونل کارن در ارتفاعات پایین و پر شیب، حفرات، کارن های چاله و تونل، پیناکل، سینک هول و پولزه در ارتفاعات بالا و کم شیب |
| ۸    | شتری       | ۱۰۰-۲۰۰            | خراسان جنوبی      | اسفندیار-شتری- جمال | اثر قطرات باران، پیناکل و کفه های کوچک انحلالی   |
| ۹    | احمدی      | ۲۰۰-۳۰۰            | فارس              | سروک - تاربور       | ریل کارن، رونل کارن، پیناکل و برج  |

شرکت آب و فاضلاب روستایی استان فارس انجام شده است که از ایشان سپاسگزاری می گردد. همچنین از آقایان دکتر فورد (Derek Ford) و دکتر ورس (Marton Veress) جهت همفکری در نامگذاری برخی از اشکال کارستی قدردانی می گردد.

### قدردانی

مطالعه حاضر، به صورت جنبی در قالب طرح های مطالعاتی ارائه شده توسط سازمان آب و برق خوزستان، شرکت های سهامی آب منطقه ای استان های چهارمحال و بختیاری، یزد و کهگیلویه و بویراحمد و همچنین

### منابع

- چیت سازان، م، کریمی وردنجانی، ح، ۱۳۹۲، بررسی توسعه کارست در مناطق بیابانی با استفاده از ایزوتوپ های پایدار، کنفرانس کاربرد ایزوتوپ ها، دانشگاه فردوسی مشهد.
- کریمی وردنجانی، ح، ۱۳۹۴، هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی کارست، انتشارات ارم شیراز.
- Ford, D.C., Williams P.W., 2007, Karst Hydrogeology and Geomorphology, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester.
- Kranjc, A., 2010, Arid Karst or Karst in Arid Countries, 2nd Symposium on Living with Landscapes.
- White, W.B., 1988, Geomorphology and hydrology of karst terrains, Oxford University press.
- Youping, T., Jie., Linhua, S., Haosheng, B., 2004, The role of aerial algae in the formation of the landscape of the Yunnan Stone Forest, Yunnan Province, China, Science in China Ser. D Earth Sciences 2004 Vol.47 No: 9 846—864.