



## بررسی گسترش و پدیده کارستی شدن سنگ های آهکی منطقه خان گرمز همدان با توجه به ویژگی های سنگ شناسی و فیزیکی آنها

محمدمسین قبادی\*، رضا بابازاده<sup>۲</sup>

استاد گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(\* عهده دار مکاتبات)

### چکیده

در این مقاله، به منظور ارزیابی گسترش کارست در منطقه حفاظت شده خان گرمز (جنوب همدان)، پدیده های ژئومورفولوژیکی کارست و ویژگی های سنگ شناسی و فیزیکی سنگ های آهکی بررسی شدند. بر اساس بررسی های میدانی، دو نوع سنگ آهک به رنگ های روشن و خاکستری با ضخامتی در حدود ۵۰۰ متر در منطقه گسترش دارند که بر روی ماسه سنگ، لای سنگ و شیل قرار گرفته اند. بر اساس رده بندی دانهام، سنگ های آهکی مورد مطالعه از نوع مادستون می باشند. با توجه به نتایج آزمایش ایکس آر اف (X-ray fluorescence: XRF)، اکسید کلسیم (CaO) در سنگ آهک های خاکستری رنگ بیشتر از ۵۰ درصد و اکسید منیزیم (MgO) کمتر از ۰/۵ درصد است. در حالیکه اکسیدهای کلسیم و منیزیم در سنگ آهک های رنگ روشن به ترتیب کمتر از ۵۰ و بیشتر از ۱ درصد می باشد. بر اساس نتایج آزمایش XRF، کانی دولومیت در سنگ آهک رنگ روشن بیشتر از سنگ آهک خاکستری رنگ است. فرآیند کارستی شدن در سنگ آهک های خاکستری رنگ در مقایسه با نوع روشن از گسترش بیشتری برخوردار است. در منطقه مورد مطالعه، ویژگی های سنگ شناسی و فراوانی پدیده های ژئومورفولوژیکی کارست که عمدتاً کارن ها، چشمه ها، فروچاله ها و غارها می باشند، برگسترش کارست در منطقه دلالت دارند.

**واژه های کلیدی:** سنگ آهک، کارست، پدیده های ژئومورفولوژیکی، منطقه حفاظت شده خان گرمز، همدان

### ۱- مقدمه

در استان همدان، شناسایی اشکال ژئومورفولوژیکی در ارتباط با مطالعه فرایند کارستی شدن و نحوه توسعه آن می تواند مفید واقع گردد. در اجرای پروژه های عمرانی (سد سازی، تونلبری)، برای اکتشاف منابع آب، نفت و گاز در مناطق کارستیک و همچنین از دیدگاه ژئوتوریسم،

شناخت پدیده های ژئومورفولوژیکی کارست و فراوانی آنها در یک منطقه می تواند به عنوان کلیدی برای ارزیابی گسترش کارست مورد استفاده قرار گیرد (قبادی ۱۳۸۸). با توجه به فراوانی سنگ های کربناته

درزه، ضخامت و شیب لایه‌ها و سطوح لایه بندی را با گسترش عوارض سطحی کارست در ناحیه اردکان مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که عوامل ساختاری نقش مهمی در گسترش کارست منطقه داشته و ناپیوستگی‌های موجود در منطقه، نقش عمده‌ای در نفوذ آب به درون آبخوان دارند. با توجه به گسترش سنگ‌های کربناته در استان همدان، شرایط مناسب سنگ‌شناسی و فراوانی پدیده‌های ژئومورفولوژیک می‌تواند به شناخت نحوه توسعه کارست کمک کند. در زمینه اجرای پروژه‌های مهندسی، وجود پدیده‌های کارستی مانند فروچاله‌های شمال همدان و دشت فامنین مشکل آفرین بوده است. برای مثال طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۴، بیشتر از ۲۸ مورد فروچاله ریزشی در محدوده‌ای معادل ۶۲۵ کیلومتر مربع در دشت مرکزی همدان و در اطراف نیروگاه شهید مفتاح همدان تشکیل شده که خسارات زیادی را به ساکنین منطقه وارد کرده است (Heidari et al. 2011). همچنین وجود غار علیصدر در شمال غرب همدان، سراب‌های گیان و گاماسیاب در منطقه نهاوند و مناطق حفاظت شده استان می‌تواند از دیدگاه ژئوتوریسمی مورد توجه قرار گیرند. در این مقاله ضمن انجام مطالعات سنگ‌شناسی، تعیین خصوصیات فیزیکی سنگ‌ها، شناسایی پدیده‌های ژئومورفولوژی کارست، ارتباط بین این عوامل با چگونگی گسترش کارست در سنگ‌آهک‌های منطقه حفاظت شده خان گرمز در جنوب همدان نیز مورد بررسی قرار گرفت. این منطقه با توجه به طبیعت زیبا و وجود پدیده‌های جالب کارستی، مکانی مناسب برای جذب گردشگران به ویژه زمین‌شناسان می‌باشد.

## ۲- موقعیت جغرافیایی

پناهگاه شکار ممنوع خان گرمز، منطقه‌ای است در جنوب همدان با اکوسیستم کوهستانی، که نام خود را از کوهی به همین نام گرفته است. محدوده قله مخروطی شکل خان گرمز، با چشم‌اندازی زیبا و ارتفاع ۲۸۵۳ متر از سطح دریا، در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی اسدآباد و ۳۴ کیلومتری غرب تویسرکان واقع شده است. این منطقه در محدوده ی جغرافیایی  $48^{\circ} 07' 20''$  تا  $48^{\circ} 16' 01''$  طول شرقی و  $34^{\circ} 32' 14''$  تا  $34^{\circ} 38' 00''$  عرض شمالی واقع شده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سال؟؟؟). در تصویر ۱، موقعیت و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

شناسایی پدیده‌های ژئومورفولوژی کارست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. ژئومورفولوژی کارست طیف وسیعی از ناهمواری‌ها از ساده‌ترین آنها مانند کارن‌ها تا تحول یافته‌ترین انواع آنها مثل غارها و پولیه‌ها را در بر می‌گیرد. تشکیل این اشکال در سنگ‌های آهکی یک منطقه توسط عوامل مختلفی کنترل می‌شود. از جمله این عوامل می‌توان به بالا بودن درصد CaO و پائین بودن درصد MgO در سنگ آهک، بافت سنگ، وجود ساختارهای تکتونیکی، لایه بندی و ضخامت آن و شرایط آب و هوایی اشاره نمود. نقش این عوامل در گسترش کارست در سنگ‌های انحلال پذیر توسط محققین مختلفی بررسی شده است (Ford & Willams 1989; 2007; Jakucs 1972; Sweeting 1972; Jennings 1985). نقش عوامل موثر در گسترش آن در ایران نیز توسط افراد مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به مواردی از قبیل: توزیع فضایی سنگ‌های کارستی در ایران (علایی طالقانی ۱۳۸۳)، بررسی تحول کارست در منطقه زاگرس (علایی طالقانی ۱۳۸۹)، بررسی نقش زمین ساخت در ژئومورفولوژی حوضه آبخیز سر آبله با تاکید بر اشکال کارستی (قاسمی ۱۳۸۲) و ژئومورفولوژی حوضه دینور با تاکید بر پدیده کارست (معنوی ۱۳۷۶) اشاره کرد. در مناطق متشکل از سنگ‌های انحلال پذیر، اشکال کارستی به صورت سطحی و زیر سطحی شکل می‌گیرند. با توجه به اینکه فراوانی چنین پدیده‌هایی ارتباط مستقیمی با مقدار انحلال سنگ‌های کارستی دارد، با شناسایی اشکال ژئومورفولوژیک کارست می‌توان اطلاعات مفیدی را در رابطه با میزان انحلال سنگ‌های قابل حل و گسترش آنها به دست آورد (Palmer 2007; Milanovic 1981). اشکال ژئومورفولوژی کارست معمولاً نشان دهنده وجود آبخوانهای کارستی می‌باشند (Huntoon 2000). بر اساس مطالعاتی که به منظور بررسی ارتباط بین فراوانی آثار خرد شدگی و اشکال ژئومورفولوژیک کارست با حضور آب زیر زمینی در سنگ‌های کربناته انجام گردید، مشخص شد که مناطقی با هوازدگی و اشکال کارستی وسیع، دارای هدایت بیشتری از سنگ‌های مجاور خود می‌باشند. بر این اساس، ظرفیت ویژه چاه‌هایی که در نزدیکی این مناطق و یا داخل آنها حفر شده اند ۱۰ تا ۱۰۰ برابر چاه‌های حفر شده در محدوده‌های مجاور می‌باشد (Parizek 1990; 1976). زمانی (۱۳۷۷)، ارتباط بین پدیده‌های ساختاری مانند چین خوردگی، گسل،

### ۳- روش پژوهش

در این پژوهش، پس از بازدیدهای صحرایی و شناسایی ساختارهای ژئومورفولوژیکی کارست، نمونه برداری از نقاط مختلف ناحیه انجام شد. در ادامه، بر اساس مطالعه مقاطع نازک و تعیین ویژگی های سنگ شناسی (شامل تعیین نوع کانی ها، بافت سنگ و...) رده بندی سنگ صورت گرفت. سپس خصوصیات فیزیکی نمونه ها مانند درصد تخلخل و وزن واحد حجم تعیین گردید. پس از انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی و با تلفیق نتایج حاصل، گسترش کارست در منطقه حفاظت شده خان گرمز مورد ارزیابی قرار گرفت.

### ۴- مطالعات صحرایی

#### الف- زمین شناسی

کوه خان گرمز به لحاظ ستبرای لایه های آهکی و داشتن لایه بندی کم شیب تا افقی، با قله ای تک افتاده و تخت، چهره ای ویژه را در منطقه پدید آورده است. به لحاظ زمین شناسی، تشکیل این سیمای

برجسته در مرکز دشت را می توان به چین خوردگی لایه های رسوبی (که شامل تناوب لایه های آهکی و لایه های آواری از قبیل ماسه سنگ، لای سنگ و شیل می باشد)، ارتباط داد که باعث تشکیل ناودیس با راستای محوری N70W شده است. مرتفع ترین قسمت های موجود در کوه خان گرمز را سنگ های آهکی با سن ژوراسیک بالایی - کرتاسه تشکیل داده اند که دارای ضخامت بیش از ۵۰۰ متر بوده و در بخش های پایینی به تشکیلات آواری تبدیل شده اند (شماره تصویر آورده شود). به علت محدود بودن سنگ های آهکی به هسته ناودیس مذکور (واحدهای K1 و JK21)، گسترش پدیده های کارست نیز در بخش های مرکزی منطقه و در هسته ناودیس قابل مشاهده است (تصویر ۲ و ۳). در جدول ۱ نیز مشخصات واحدهای مختلف زمین شناسی آورده شده است.

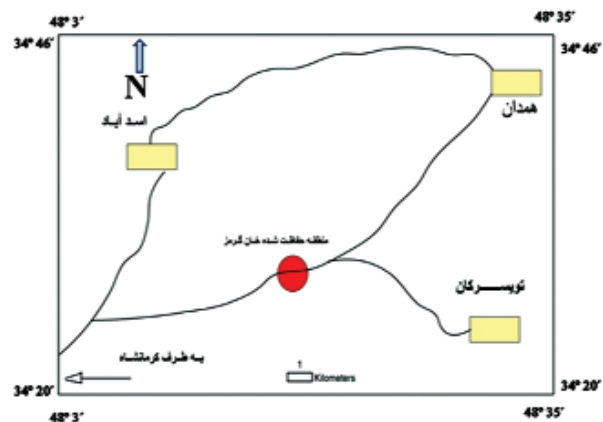
بر اساس مطالعات درزه برداری در منطقه مورد مطالعه، دو دسته درزه غالب کششی شناسایی گردید که دارای امتدادهایی به موازات محور چین و عمود بر آن هستند (تصویر ۴).

### ۵- پدیده های ژئومورفولوژی کارست

مطالعات مربوط به بررسی عوارض کارستی در یک منطقه شامل دو بخش سطحی و زیر سطحی می باشد که با توجه به بازدیدهای میدانی نسبت به شناسایی این پدیده ها اقدام می شود.

#### الف - ژئومورفولوژی کارست سطحی

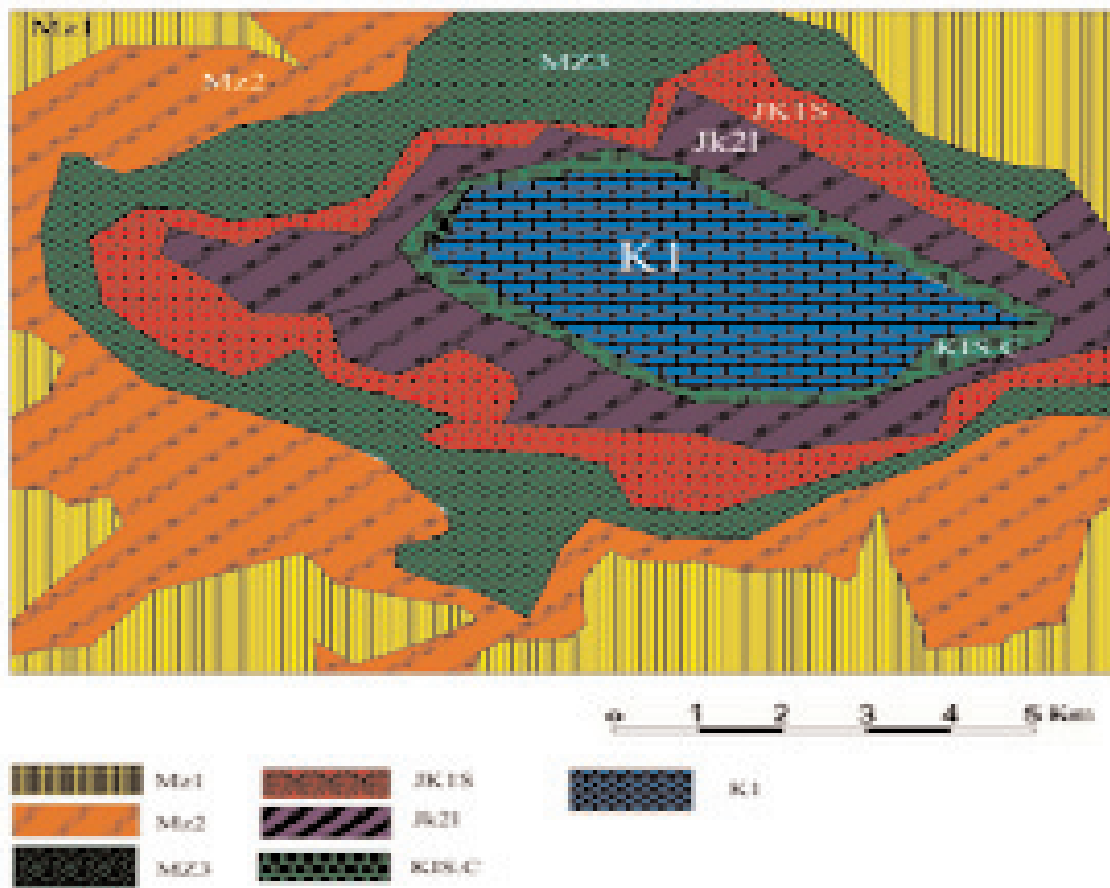
بیشترین قدرت حل کنندگی آب باران تا عمق ۱۰ متری از سطح سنگ های انحلال پذیر می باشد، که حاصل عملکرد آن اپی کارست نامیده می شود (Ford 2007). ادامه قدرت انحلال آب در عمق بیشتر، وابسته به عوامل مختلفی است که مهم ترین آن اشباع نبودن



تصویر ۱- راه های دسترسی و موقعیت منطقه حفاظت شده خان گرمز

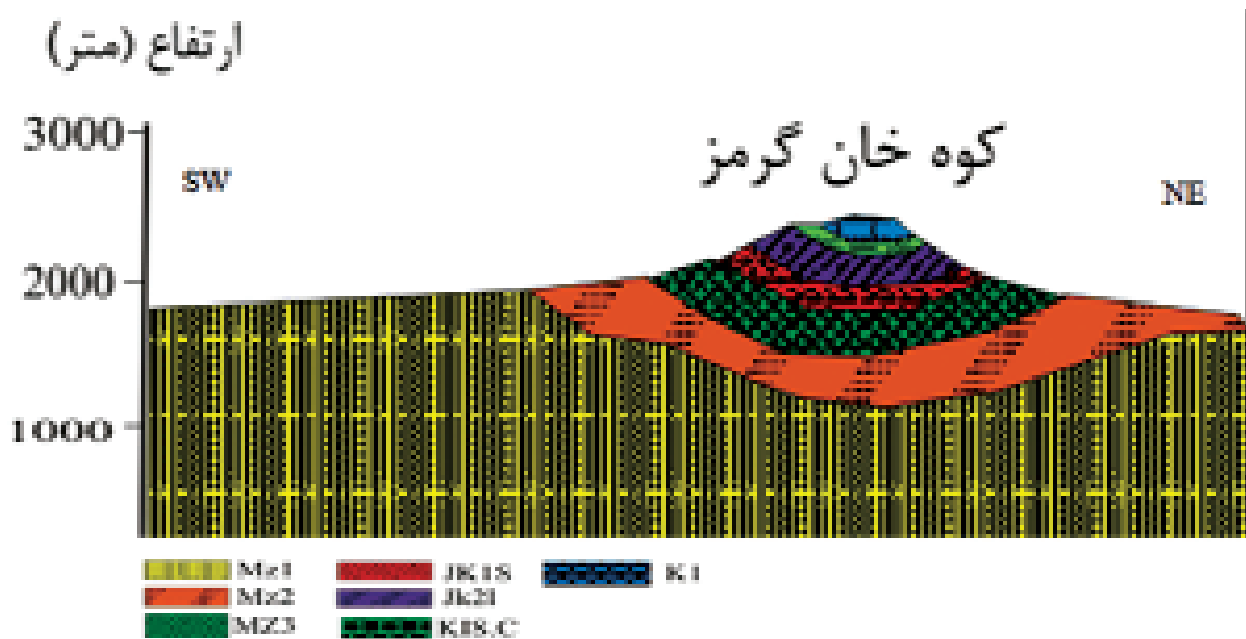
جدول ۱- مشخصات واحدهای زمین شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه زمین شناسی تویسرکان)

نام واحد	جنس	سن	سازند معادل
MZ1	سنگ آهک، اسلیت، ماسه سنگ	ژوراسیک زیرین	شمشک
Mz2	ناوب ماسه سنگ - سیلستون	ژوراسیک زیرین - میانی	شمشک
Mz3	ماسه سنگ توفی	ژوراسیک زیرین - میانی	شمشک
JK1s	ماسه سنگ متوسط - ضخیم لایه آهن دار	ژوراسیک میانی	شمشک
JK21	سنگ آهک خاکستری حاوی فسفیل گاستروپود و جلبک	کرتاسه زیرین	دلیچای
K1S.C	ماسه سنگ قهوه ای تیره آهن دار	کرتاسه زیرین تا میانی	-
K1	آهک خاکستری - ضخیم و لایه بندی شده اریپتولین دار	کرتاسه بالایی	تیزکوه

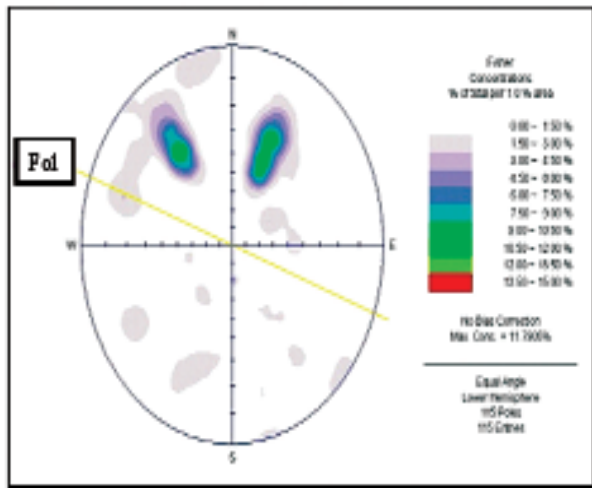


تصویر ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه حفاظت شده خان‌گرمز (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی تویسرکان)

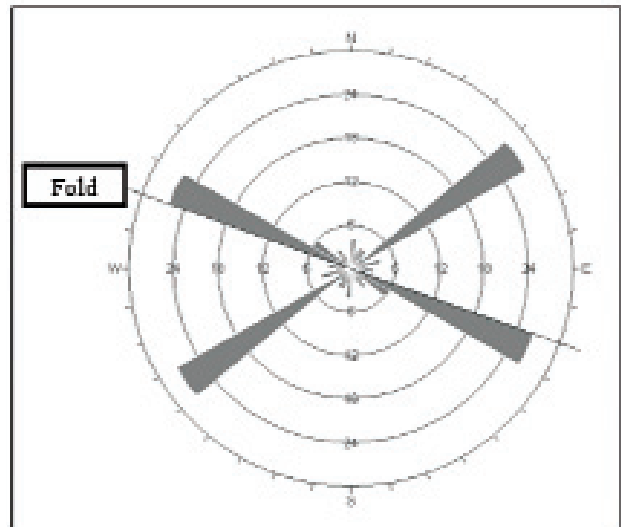
واحد MZ1 (سنگ آهک، اسلیت، ماسه سنگ)، واحد MZ2 (تناوب ماسه سنگ - سیلتستون)، واحد MZ3 (ماسه سنگ توفی)، واحد JK1s (ماسه سنگ متوسط - ضخیم لایه آهن دار)، واحد JK21 (سنگ آهک خاکستری حاوی فسیل گاستروپود و جلبک)، واحد K1S.C (ماسه سنگ قهوه‌ای تیره آهن دار)، واحد K1 (آهک خاکستری - ضخیم و لایه بندی شده اربیتولین دار)



تصویر ۳- مقطع زمین‌شناسی در راستای شمال شرقی - جنوب غربی (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی تویسرکان ۱۳۷۵)



(ب)



(الف)

تصویر ۴- رز دیاگرام (الف) و کنتور دیاگرام (ب) مربوط به درزه های موجود در منطقه



تصویر ۵- تصاویری از کارنه های موجود در منطقه

کارست در ناحیه می باشند. با افزایش ارتفاع، ابعاد کارن ها بزرگتر و تعداد آنها فراوان تر می شود. این موضوع نشان دهنده ی گسترش بیشتر کارست در آب و هوای سردتر است (قبادی ۱۳۸۸). در تصویر ۵، کارن های موجود در قله کوه خان گرمز قابل مشاهده می باشند.

#### ۷- ریلن کارن ها (RillenKarrens)

ریلن کارن ها، یکی از انواع کارن می باشند که بر روی سنگ های عاری از پوشش خاکی تشکیل می گردد. این اشکال عمدتاً در مناطق شیب دار تشکیل شده و دارای عمق ۲-۱ سانتی متر، عرض ۳-۲ سانتی متر و طول تا ۵۰ سانتی متر می باشند. ریلن کارن ها در شرایط آب و هوایی مختلف و همچنین بر روی سنگ های آهکی، گچی و نمکی

آب زیرزمینی است (قبادی ۱۳۸۸). انحلال سنگ ها توسط آب، باعث ایجاد مجموعه ای از اشکال کارستی می شود که ابعاد آنها از کمتر از یک میلیمتر برای میکروکارن ها تا چندین کیلومتر برای پولیه ها متغیر است. پس از بازدیدهای میدانی و پیمایش در بخش های مختلف منطقه حفاظت شده خان گرمز، نوع و فراوانی عوارض سطحی کارست شناسایی شدند. بر اساس این مطالعات، آثار سطحی پدیده انحلال عمدتاً شامل انواع مختلف کارن (لایه)، چشمه ها، پنجره های کارستی و فروچاله می باشند.

#### ۱- کارن ها (لایه)

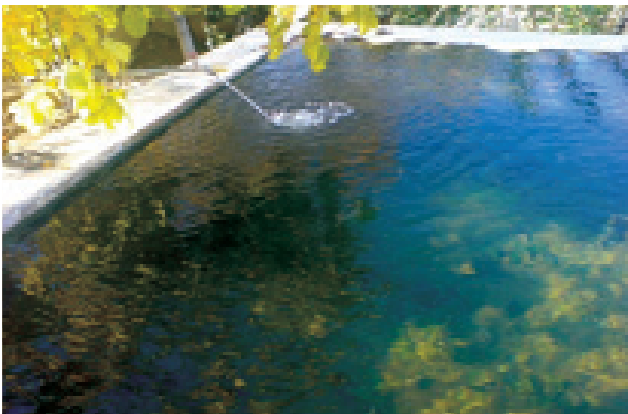
در منطقه مورد مطالعه، کارن ها فراوان ترین پدیده های ژئومورفولوژی

#### ۴- فروچاله‌ها

بر اساس مطالعات صحرایی، در محدوده مورد مطالعه تعدادی فروچاله (دولین) شناسایی شد که عمدتاً در مرحله شکل‌گیری می‌باشند. این فروچاله‌ها با توجه به قطر زیادشان از نوع کاسه‌ای و قیفی بوده که وجود ترک خوردگی‌های بسیار گسترده سطح زمین در منطقه تخت سر (منطقه مسطح واقع در قله کوه) از مهمترین علائم موجود جهت پی بردن به حضور آنها، می‌باشد. تصویر یکی از فروچاله‌های (دولین) تازه شکل گرفته در تصویر ۹ نشان داده شده است.

#### پ- ژئومورفولوژی کارست زیر سطحی

اگرچه آب باران، قدرت انحلال خیلی بیشتری در سطح زمین دارد ولی گردش آن در ناپیوستگی‌های اولیه (مانند صفحات لایه بندی) به ویژه ترک‌های کششی توده سنگ‌های کربناته در زیر سطح زمین نیز ادامه دارد. غارها به عنوان یکی از شاخص‌ترین اشکال کارستی عموماً به علت انحلال سنگ در امتداد درزه‌های متقاطع شروع به شکل



تصویر ۸- حوضچه چشمه کارستی تماسی در بخش جنوبی کوه خان گرمز

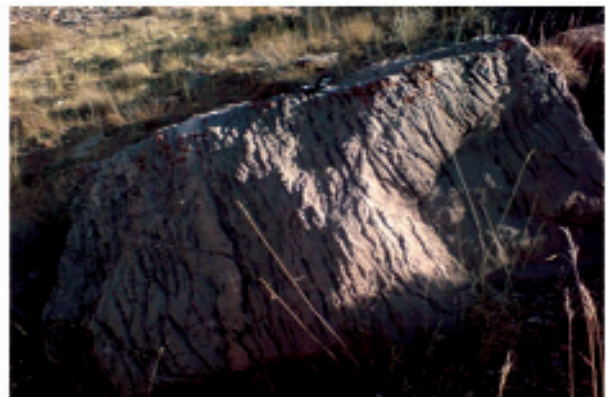


تصویر ۹- بزرگترین فروچاله (دولین) شناخته شده منطقه که در حال شکل‌گیری می‌باشد (دید عکس به سمت جنوب)

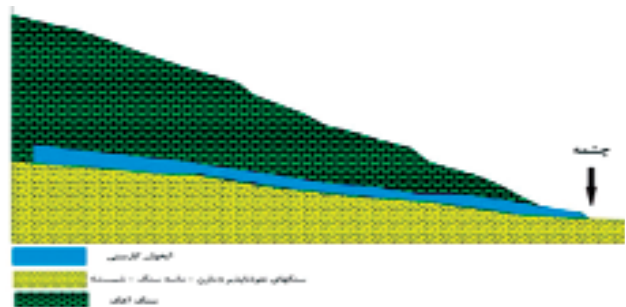
تشکیل می‌شوند (Milanovic 1981). در تصویر ۶ نمونه‌ای از ریلن کارنهای موجود در منطقه نشان داده شده است.

#### ۳- چشمه‌های کارستی

آب موجود در آبخوانهای کارستی، از طریق مجاری موجود در توده سنگ که دارای قطری در حدود امیلی متر تا ۱۰ متر می‌باشند حرکت می‌کند و تقریباً تمامی آبهای زیرزمینی جریان یافته در مجاری از طریق چشمه‌ها به سطح زمین تخلیه می‌شوند (Dreybrodt 1988). چشمه‌های کارستی موجود در ناودیس مورد مطالعه، عمدتاً به صورت تماسی و سرریزی می‌باشند. در چشمه‌های سرریزی، آب از محل تماس طبقه نفوذپذیر با یک طبقه نفوذناپذیر جریان پیدا می‌کند (قبادی ۱۳۸۸). در منطقه مورد مطالعه نیز قرارگیری طبقات نفوذناپذیر (ماسه سنگ، شیل و شیست) در زیر طبقات آهکی باعث ظهور چشمه از محل این تماس‌ها گردیده است (که دبی این چشمه‌ها کم و در حدود ۲-۱ لیتر در ثانیه می‌باشد) (تصویر ۷ و ۸). در نوع سرریزی، چشمه‌ها پراکنده بوده و آبدهی کمی دارند که با توجه به ساختمان ناودیسی و قرارگیری لایه‌های ضخیم کربناته روی سنگ‌های آواری، در تراز بالاتری نسبت به چشمه‌های تماسی قرار گرفته‌اند.



تصویر ۶- ریلن کارنهای موجود در منطقه



تصویر ۷- مقطع زمین‌شناسی شماتیک چشمه کارستی تماسی در بخش جنوبی کوه خان گرمز

شده با کلسیت است. وجود استیلولیت در این سنگ آهک بیانگر وجود فشارهای بالا می باشد (تصویر ۱۱). از نکات قابل توجه در مقاطع نازک مورد مطالعه، وجود بلورهای دولومیت در این سنگ آهک است. سنگ های کربناته با خلوص زیادتر، انحلال پذیر تر می باشند، بنابراین با افزایش دولومیت میزان انحلال پذیری کاهش خواهد یافت (قبادی و رجب پور ۱۳۷۸).

گیری می کنند که میزان گسترش فضای آن و اشکال ثانوی به خصوصیات زمین شناسی توده سنگ های کربناته وابسته است (Milanovic 1981). در منطقه حفاظت شده خان گرمز غارهایی شناسایی شدند که بزرگترین آنها طولی در حدود ۳ متر و ارتفاعی برابر با ۱ متر دارند. معروفترین آن ها در ضلع جنوبی کوه خان گرمز غارهای بهرامی، مرلستانی و عبدا...خان می باشند.

## ۶- مطالعات آزمایشگاهی

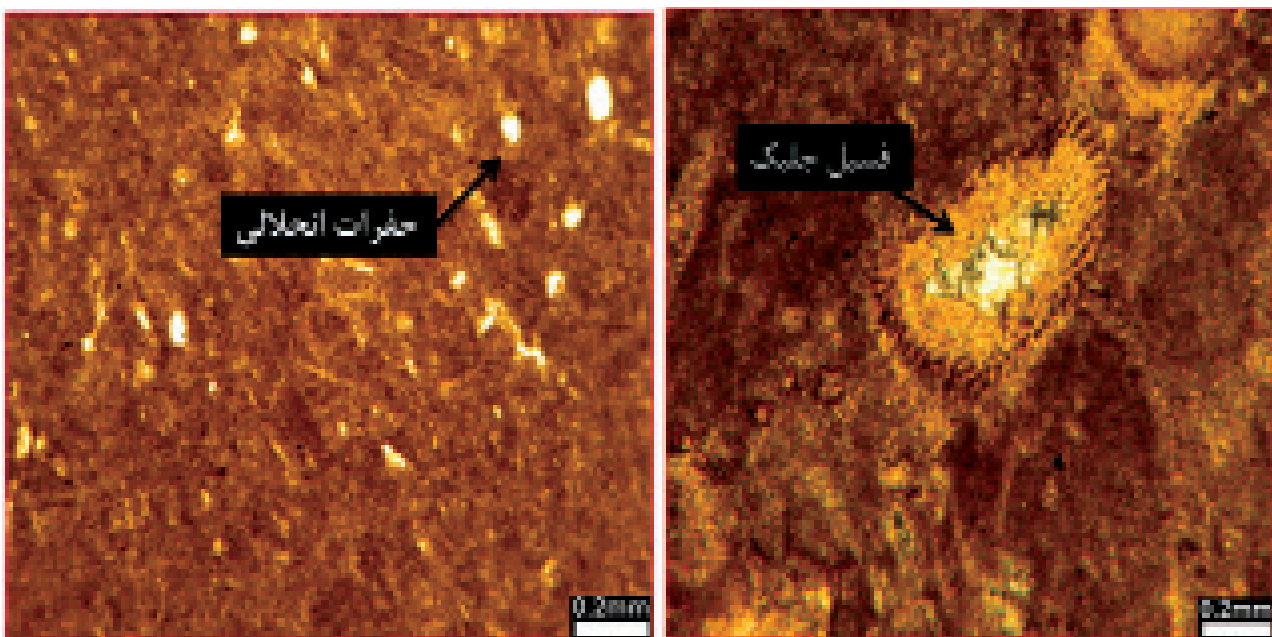
### ۱- سنگ شناسی

همانطور که ذکر شد در منطقه مورد مطالعه دو نوع سنگ آهک تشخیص داده شد که در نمونه های دستی به رنگ های خاکستری و روشن می باشند. جهت تعیین مشخصات سنگ شناسی و کانی شناسی، مقاطع نازک برای هر دو نوع سنگ آهک تهیه و به شرح زیر مورد مطالعه قرار گرفت.

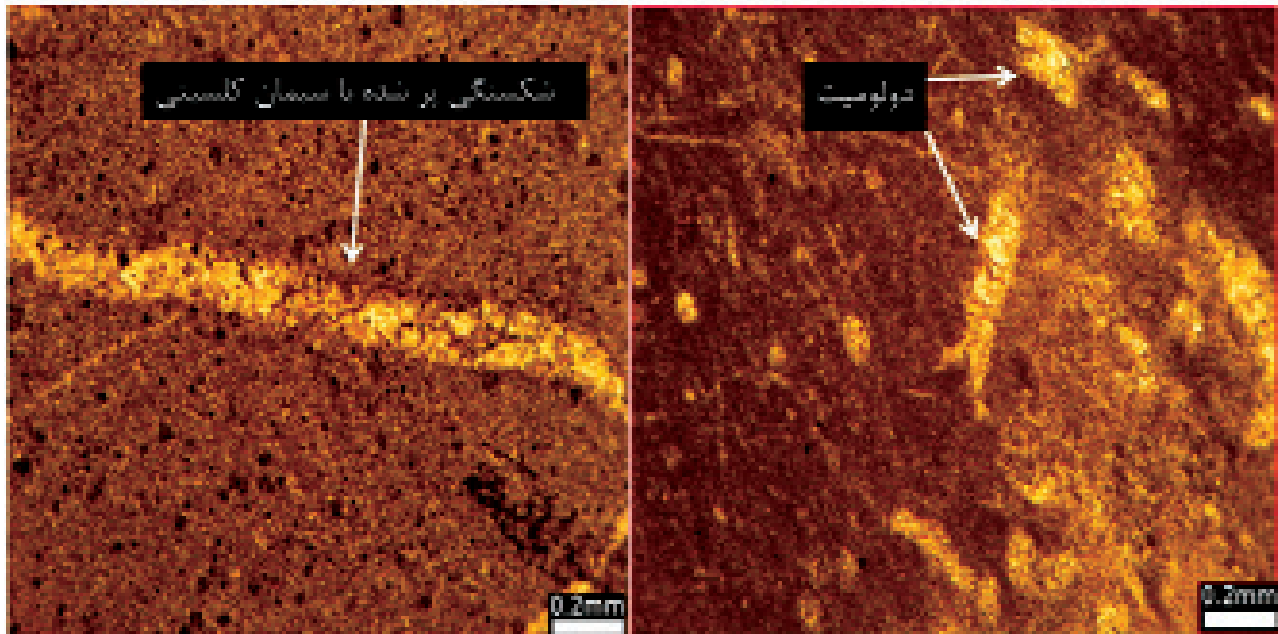
**الف: سنگ آهک خاکستری:** سنگ آهکی میکریتی ریزدانه که بر اساس رده بندی دانهام از نوع مادستون می باشد. تخلخل حفره ای و شکستگی های پر شده با سیمان و وجود فسیل جلبک از ویژگی های این سنگ آهک است. نوع مواد پر کننده شکستگی ها عمدتاً کلسیت می باشد. در این نمونه، کانی دولومیت مشاهده نشده است (تصویر ۱۰).  
**ب- سنگ آهک روشن:** آهکی میکریتی که بر اساس رده بندی دانهام از نوع مادستون بوده و دارای حفرات انحلالی و شکستگی های پر

### ۱- مطالعات XRD و XRF

جهت مطالعه ارتباط بین ترکیب شیمیایی سنگ و میزان انحلال پذیری، مطالعات ایکس آر اف (XRF) (X-ray fluorescence; XRF) و پراش اشعه ایکس (XRD X-ray Diffraction) بر روی نمونه های تهیه شده از هر دو سنگ آهک (روشن و خاکستری) انجام شد. بر اساس نتایج حاصل، میزان اکسید کلسیم در سنگ آهک نوع خاکستری بالای ۵۰ درصد است. در حالی که میزان این اکسید برای سنگ آهک نوع روشن کمتر از ۵۰ درصد می باشد. همچنین میزان اکسید منیزیم در سنگ آهک نوع روشن ۱/۰۷ درصد و در سنگ آهک نوع خاکستری ۰/۳۵ درصد است (جدول ۲). با استفاده از نتایج مطالعات XRD نیز می توان دریافت که درصد کانی دولومیت در سنگ آهک نوع روشن در مقایسه با نوع خاکستری بیشتر می باشد (تصویر ۱۲ و ۱۳). بنابر این می توان نتیجه گرفت که سنگ آهک رنگ روشن، قابلیت انحلال پذیری کمتری نسبت به نوع خاکستری دارد.



تصویر ۱۰- مقاطع نازک سنگ آهک خاکستری (مادستون)، متن سنگ، آهک میکریتی ریزدانه بوده و حفرات انحلالی و فسیل جلبک در آن قابل مشاهده می باشد.



تصویر ۱۱- مقاطع نازک سنگ آهک روشن (مادستون)، متن سنگ، آهک میکرایتی ریزدانه بوده و شکستگی های موجود در آن با سیمان کلسیت هم بعد پر شده اند. حضور کانی دولومیت بصورت بلورهای لوزی شکل نیز از دیگر ویژگیهای مقطع نازک این سنگ می باشد.

جدول ۲- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های آهکی (XRF)

نمونه سنگ آهک	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
نوع خاکستری	۰/۷۲	۰/۰۷	۰/۰۵	۵۴/۸۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۳۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۷۸
نوع روشن	۹/۲۴	۱/۵۶	۰/۷۴	۴۷/۳۸	۰/۰۶	۰/۴۳	۱/۰۷	۰/۰۷۲	۰/۰۰۱	۰/۹۸

می باشد (Ford & Williams 1989). در رابطه با سنگ های آهکی منطقه مورد مطالعه، علیرغم کم بودن مقادیر تخلخل سنگ بکر، ناپیوستگیهایی از قبیل درزه، گسل و صفحات لایه بندی در ایجاد تخلخل موثر و تسریع پدیده انحلال مهمترین نقش را دارا می باشند.

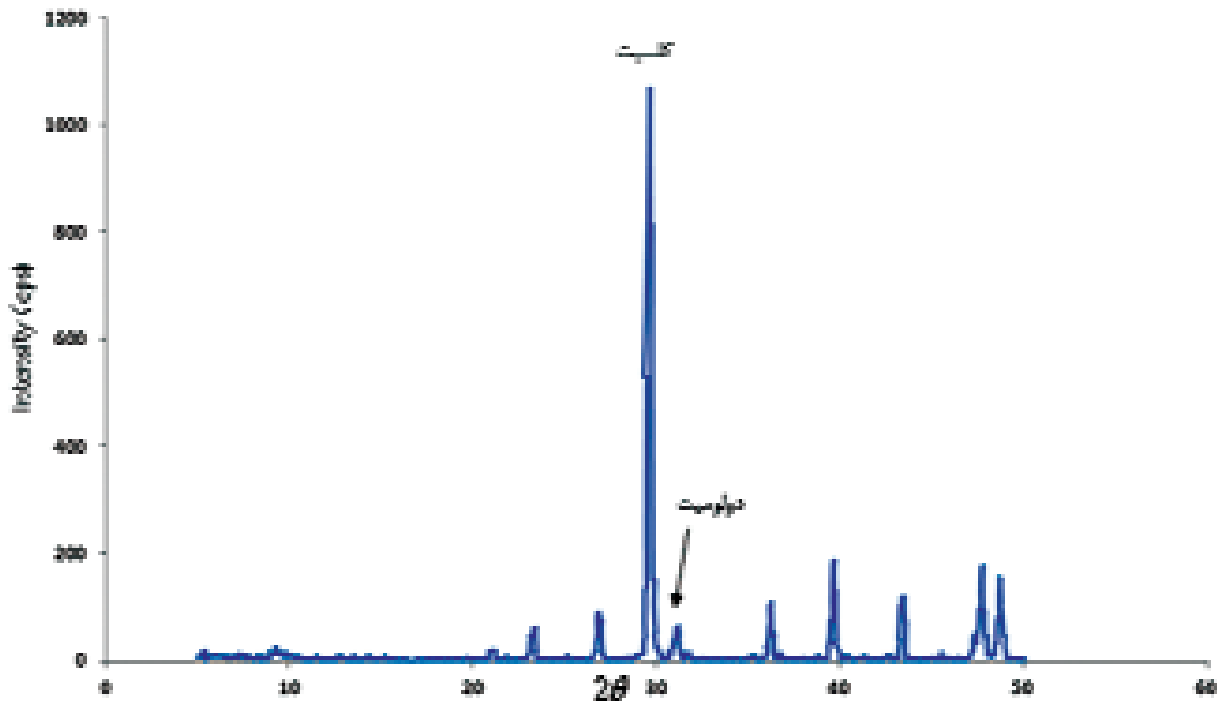
#### ۷- بحث

توسعه کارست به عوامل متعددی مانند ترکیب سنگ شناسی، ضخامت لایه های کربناته، وجود گاز CO<sub>2</sub>، فراوانی ساختارهای تکتونیکی، فراوانی نزولات جوی، دمای پایین و پستی و بلندی منطقه وابسته است (White 2002). در منطقه مورد مطالعه، محدوده وسیعی از اشکال ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی کارست در مقیاس های مختلفی از قبیل کارن، دولین و چشمه گسترش دارند. چنین اشکال کارستی بیانگر حضور شبکه های زهکشی زیر سطحی کارست می باشند. به طور کلی در مقایسه با ضخامت زیاد آهک و توسعه نسبی کارست در آن، تعداد غارها و طول آنها در منطقه مورد

### ۳- فصوصیات فیزیکی

کارستی شدن و به عبارت دیگر گسترش فرایند انحلال در سنگ های انحلال پذیر، ارتباط مستقیمی با ویژگی های فیزیکی سنگ ها دارد. ویژگی های فیزیکی مانند درصد تخلخل و وزن واحد حجم، در ایجاد کارست و میزان گسترش آن نقش مهمی دارد. بنابراین یکی از نخستین قدم ها در مطالعات زمین شناسی مهندسی کارست، تعیین خصوصیات فیزیکی سنگ بکر می باشد (قبادی ۱۳۸۸). در این مطالعه، جهت تعیین خواص فیزیکی سنگ های آهکی موجود در منطقه مورد مطالعه، پس از نمونه برداری و انتقال آن به آزمایشگاه، آزمایش های تعیین وزن واحد حجم و درصد رطوبت و تخلخل انجام شد که نتایج در جدول ۳ آورده شده است. بر این اساس، مقادیر تخلخل حداکثر در مادستون نوع خاکستری و روشن به ترتیب ۷۸ و ۳۵ درصد می باشد که بیانگر تخلخل کم نمونه های بکر است. لازم به ذکر است که هیدرولوژی و مورفولوژی کارست بطور عمده وابسته به تخلخل موثر سنگ بکر و تخلخل ثانویه توده سنگ کربناته



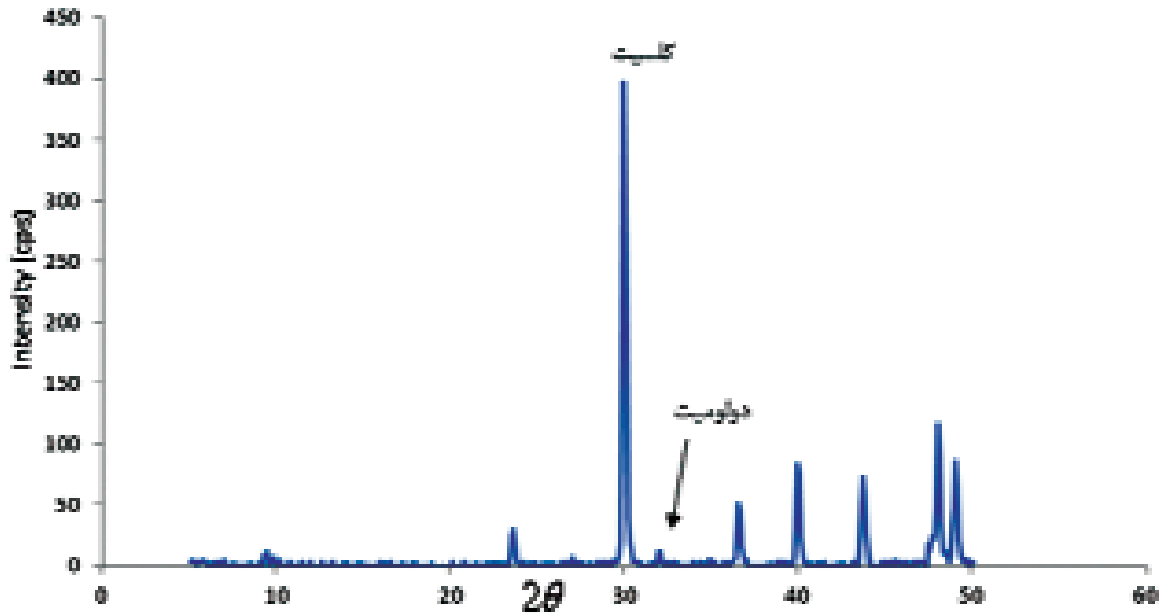


تصویر ۱۲- طیف XRD مربوط به نمونه سنگ آهک رنگ روشن (۲: زاویه پراش، شدت پراش در واحد ثانیه) (Counts per second) cps

جدول ۳) مشخصات فیزیکی نمونه های سنگ آهک منطقه خان گرمز

نوع سنگ آهک	شماره نمونه	وزن واحد حجم اشباع (gr/cm <sup>3</sup> )	وزن واحد حجم خشک (gr/cm <sup>3</sup> )	رطوبت طبیعی %	تخلخل %
خاکستری	۱	۲/۴۲	۲/۳۷	۰/۶	۱/۸
	۲	۲/۴۱	۲/۳۶	۰/۳۴	۱/۳
	۳	۲/۴	۲/۳۶	۰/۴۳	۱/۲۳
	۴	۲/۳۷	۲/۳۳	۰/۵۴	۱/۳۴
	۵	۳/۴	۲/۳۲	۰/۴۹	۱/۳۹
	۶	۲/۳۹	۲/۳۵	۰/۴۹	۱/۴۹
	۷	۲/۳۶	۲/۳۳	۰/۵۴	۱/۶۵
	۸	۲/۳۸	۲/۳۴	۰/۵۹	۱/۷۶
	۹	۲/۴	۲/۳۶	۰/۶	۱/۶۳
	۱۰	۲/۳	۲/۳۱	۰/۴۳	۱/۱
مقادیر متوسط	-	۲/۳۹	۲/۳۳	۰/۵۱	۱/۴۹
روشن	۱	۲/۵۴	۲/۴۵	۰/۲	۰/۳۵
	۲	۲/۵۴	۲/۴۳	۰/۱۹	۰/۳۲
	۳	۲/۴۵	۲/۳۸	۰/۱۳	۰/۳۴
	۴	۲/۴۸	۲/۴	۰/۱۸	۰/۳۵
	۵	۲/۴۹	۲/۴۳	۰/۱۳	۰/۲۴
	۶	۲/۵۱	۲/۴۳	۰/۱۳	۰/۲۹
	۷	۲/۵	۲/۴۳	۰/۱۵	۰/۲۶
	۸	۲/۴۷	۲/۳۹	۰/۱۵	۰/۳۱
	۹	۲/۴۹	۲/۴	۰/۱۳	۰/۲۲
	۱۰	۲/۴۶	۲/۳۶	۰/۱۴	۰/۲۸
مقادیر متوسط	-	۲/۴۷	۲/۴	۰/۱۶	۰/۳

مطالعه کم است. دلیل این امر را می توان به وجود میان لایه های ماسه سنگ و لای سنگ ارتباط داد. در این حالت، برخورد آب به چنین سنگ های نفوذناپذیری باعث توقف توسعه غار گردیده است. بر اساس مطالعات انجام شده توسط کریمی وردنجانی (۱۳۸۹)، جهت بررسی توسعه کارست در جنوب غرب ایران، مشخص شد که در محدوده مذکور ماهیت تکتونیکی فعال زاگرس باعث شده که با بالا آمدن تاقدیس ها، مجاری کارستی برای به تعادل رسیدن با سطح اساس هیدرولوژیکی به ترازهای پایین تر منتقل شده و در نتیجه زمان کافی برای توسعه غارهای بزرگ فراهم نگردد. چنین مکانیسمی نیز می تواند با توجه به تکتونیک فعال منطقه خان گرمز و همچنین بالا آمدگی آن، جهت تفسیر توسعه ناقص غارها بکار برود. در منطقه مورد مطالعه، دولین ها منحصر در ارتفاعات، یعنی جایی که شیب کم و شرایط تشکیل آنها فراهم است، دیده می شوند. همچنین به علت برفگیر بودن این ارتفاعات، رسوبات ایجاد شده توسط هوازددگی ناشی از یخ زدگی، باعث جلوگیری از رشد کارنها شده است. هر چند در بخش هایی از منطقه، گسترش این عوارض را می توان ناشی از تاثیر عوامل دیگر از قبیل جنس سنگ ها دانست. علایی طالقانی (۱۳۸۹) در بررسی های خود بر روی گسترش کارست در جنوب



تصویر ۱۳- طیف XRD مربوط به نمونه سنگ آهک خاکستری رنگ (۲: زاویه پراش، cps (Counts per second): شدت پراش در واحد ثانیه)

اختلاف ارتفاعی معادل ۲۰۰۰ متر بین قله کوه خان گرمز و مناطق پست، پدیده‌های کارستی در ارتفاعات ناحیه، نسبت به مناطق کم ارتفاع از گسترش بیشتری برخوردار می‌باشند. یکی از شواهد گسترش کارست عمیق وجود سنگ‌های کربناته خیلی ضخیم بر روی سنگ‌های نفوذپذیر است. علت آن است که عبور جریان آب از سنگ‌های کربناته و لایه‌های نفوذپذیر زیرین با توجه به عدم توقف آب و افزایش سرعت جریان، به توسعه و گسترش کارست کمک می‌کند. با توجه به وضعیت چینه‌شناسی، لایه‌های آهکی با ضخامت حدود ۵۰۰ متر روی لایه‌های آواری از قبیل ماسه سنگ قرار گرفته‌اند. ساختمان تکتونیکی اصلی، ناودیدی است که در بخش‌های عمیق آن (بخش محدب چین) شکستگی‌های کششی توسعه یافته‌اند. بنابراین توسعه و گسترش کارست در عمق بسیار محتمل می‌باشد. این موضوع را پراکندگی کم چشمه‌های دارای آبدهی زیاد تأیید می‌کنند. زیرا مخازن آب زیر سطحی، به علت عمق زیاد کارست در اعماق جای گرفته‌اند بر اساس مشاهدات صحرائی، چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی و شواهد ژئومورفولوژیکی و تکتونیکی، کارست در منطقه خان گرمز توسعه یافته و عمیق می‌باشد.

## ۸- نتیجه گیری

مراجعه  
زمانی، ر.، ۱۳۷۷. ارتباط سیستم ساختمانی و کارست شدگی در اردکان فارس،

غرب ایران به این نتیجه رسید که سازندهای مختلف زاگرس که حاوی کربنات کلسیم و یا سایر سنگ‌های قابل انحلال هستند، همگی به یک اندازه قابلیت انحلال نداشته و هر چه درجه خلوص کربنات کلسیم بیشتر باشد، قابلیت انحلال آن نیز بیشتر خواهد بود.

بر اساس مطالعات سنگ‌شناسی در منطقه خان گرمز، استعداد کارستی شدن در آهک‌های خاکستری رنگ بیشتر است. زیرا در این نوع سنگ آهک، درصد اکسید کلسیم بیشتر (۵۴/۸۳ درصد) و درصد اکسید منیزیم نسبت به آهک‌های رنگ روش کمتر می‌باشد (۰/۳۵ درصد). همچنین واحدهای آهکی مذکور مقدار دولومیت کمتری دارند. گسترش درزه‌های کششی در منطقه ناشی از چین خوردگی می‌باشد. بر اساس مطالعات درزه برداری در ناحیه، دو دسته درزه غالب کششی شناسایی گردید که دارای امتدادهایی به موازات محور چین و عمود بر آن هستند. میزان باز شدگی درزه‌ها از ۱ میلی متر تا بیش از ۸ میلی متر متغیر می‌باشد. همچنین در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه به ویژه در مناطق مرتفع، به علت تراکم زیاد درزه، توده سنگ‌های آهکی به شدت خرد شده می‌باشند. عوارض کارستی عمدتاً در امتداد این ساختارها شکل گرفته‌اند که بعنوان شواهد سطحی، توسعه کارست را در ناحیه تأیید می‌کنند. به علت وجود

OH.

**Parizek, R, R, 1990.** Nature and hydrologic significance of fracture traces lineaments, and fracture zones related to ground water monitoring. *U.S.E.P.A. Office of Research and Development Environment. Environmental Monitoring Systems. Technical document CR813660-01-0, 165 pp.*

**Parizek, R.R., 1976.** On the nature and significance of fracture trace and lineaments in carbonates and other terrains: In karst Hydrology & water resources. *Proceedings of the U.S. Yugoslavian Symposium*

**Swetling, M.M., 1972.** Karst Landforms. *London, the Macmillan Press Ltd., 362.*

**White, W.B., 2002.** Karst hydrology: recent development and open questions. *Engineering Geology 65, 85-105.*

مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی. کرمانشاه.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۵. نقشه چهار گوش تویسرکان به مقیاس ۱:۷۰۰۰۰۰.

**علایی طالقانی، م، ۱۳۸۳.** توزیع فضایی سنگ‌های کارستی در ایران، معاونت پژوهشی دانشگاه رازی کرمانشاه. ۳۶-۱۳.

**علایی طالقانی، م، ۱۳۸۹.** درآمدی بر توسعه کارست در جنوب غرب ایران، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی کرمانشاه ۳۲۳-۳۱۳.

**قاسمی، ا، ۱۳۸۲.** بررسی نقش زمین‌ساخت در ژئومورفولوژی حوضه سرآبله با تاکید بر اشکال کارستی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه رازی کرمانشاه.

**قبادی، م، ۱۳۸۸.** زمین‌شناسی مهندسی کارست. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان. چاپ دوم ۳۰۰ صفحه.

**قبادی، م.ح، رجب پور، م، ۱۳۷۸.** انحلال پذیری و گسترش ناپیوستگی‌ها در توده سنگ‌های آهکی محل سد شهید عباسپور (کارون ۱). هیجدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران. ۹۹۹-۱۰۰۴.

**کریمی وردنجانی، ح، ۱۳۸۹.** درآمدی بر توسعه کارست در جنوب غرب ایران، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی کرمانشاه ۲۹۸-۲۸۷.

**کلانتری، ن، کشاورزی، م، چرچی، ع، ۱۳۸۸.** عوامل موثر در ظهور چشمه‌های حوضه آبریز دشت ایذه. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی شماره ۱۴۷۲-۱۳۵.

**معنوی نامقی، ر، ۱۳۷۶.** ژئومورفولوژی حوضه دینور با تاکید بر پدیده کارست و تاثیر آن بر آبهای سطحی و زیر زمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

**Dreybrodt, W., 1988.** Processes in Karst System: Physic, Chemistry, and Geology. *Springer, New York, NY.*

**Ford, D., 2007.** Jovan Cvijic & the founding of karst geomorphology. *Journal of Environmental Geology 51:675 - 684.*

**Ford, D.C., Williams, P.W., 1989.** Karst Geomorphology and Hydrology. *Unwin Hyman, p 601.*

**Ford, D.C., and Williams, P.W., 2007.** Karst Geomorphology and Hydrology. Second edition. *London, Wily, p 562.*

**Heidari, H., Khanlari, G.R., TalebBeydokhti, A.R., Momeni. A.A., 2011.** The formation of cover collapse sinkholes in North of Hamedan, Iran. *Geomorphology 132: 76-86.*

**Huntoon, P.W., 2000.** Variability of karstic permeability between unconfined and confined aquifers, Grand Canyon region, Arizona. *Environmental and Engineering Geoscience 6, 155-170*

**Jakucs, L., 1977.** Morphogenetics of karst region. *Budapest, Akademia Kiado, p 284.*

**Jenning, J.N., 1985.** Karst Geomorphology. *Oxford and New York, Basil Blackwell, p 293.*

**Milanovic, P., 1981.** Karst hydrology. *WPR, Colorado, U.S.A., 434pp.*

**Palmer, A.N., 2007.** Cave Geology. *Cave Books, Dayton,*