مطالعه ژئوشیمیایی آبخوان کارستی آهک گوری در شمال بندرعباس (تاقدیسهای خورگو و گنو)

حمیدرضا معصومی*، محبوبه مداح رودان، مهران ساردویی، سمیرا سالاری تازیانی
گروه زمین شناسی،دانشگاه آزاد اسلامی، واحدبندرعباس، بندرعباس، ایران.
*Email: h.masoumi@iauba.ac.ir**

چکیده

در این پژوهش باتوجه به اقلیم خشک و خشکسالی چندین ساله منطقه و استفاده بهینه از منابع آبی موجود، ببه مطالعه آبخوان کارستی در شمال بندرعباس پرداخته شده است. هدف از این پژوهش، بررسی و مقایسه مشخصات ژئوشیمیایی سنگ آهک گوری در شمال بندرعباس، در یال های شمالی و جنوبی دو تاقدیس گنو و خورگو می باشد. مهمترین ایده در این راه وجود واحدهای سنگی کربناته کارستی، توسعه یافتگی سیستم های شکستگی ناشی از گسل‌ها و هوازدگی مکانیکی، گردش آب در توده آهکی و فرآیند انحلال می باشد. بدین منظور پس از مطالعات اولیه، با تفسیر بصری تصاویر ماهواره ای و نقشه های زمین شناسی موجود، نسبت به تهیه پلان علمیات میدانی اقدام شد. طی عملیات میدانی، نسبت به شناسایی عوارض کارستی، بررسی سنگ چینه ای و برداشت ۸ نمونه از واحدهای سنگی آهک گوری در یال های جنوبی و شمالی تاقدیس های گنو و خورگو اقدام گردید. ببه منظور شناسایی مشخصات ژئوشیمیایی آهک گوری، هریک از نمونه ها مورد آنالیز فلورسانس پرتتو ایکس قرار گرفتته و مقادیر درصد اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیم، آهن، منگنز، منیزیم و کلسیم محاسبه شد. از آن جایی که آهک گوری جوان ترین و کم عمق ترین واحد کارستی در ستون چینه شناسی است، کم عمق ترین منابع آب زیر زمینی در مناطق بدون پوشش آبرفت دارای ذخیره آب را دارا می باشد. ببر اساس نتایج این آنالیز، پتانسیل انحلال سنگ آهک گوری تحت شرایط اقلیمی و با توجه به میانگین دمای سالانه منطقه و همبستگی پارامترهای ژئوشیمیایی سنگ صورت گرفت. این پتانسیل با درنظر گرفتن متوسط بارش سالانه منطقه، حداقل ۱۲۰۰ متر مکعب در کیلومتر مربع خواهد بود. با توجه به نتایج بدست آمده یال های شمالی هر دو تاقدیس شرایط انحلالی و کارستی شدن شدیدتری نسبت به یال های جنوبی دارند. لذا انتظار شکل گیری آبخوان محصور ناودیسی در امتداد یال های شمالی هر دو تاقدیس وجود دارد.

واژه‌های کلیدی:
ژئوشیمی، آبخوان کارستی، آهک گوی، تاقدیس خورگو، تاقدیس گنو.

مقدمه

فرآیند کارستی شدن باعث ایجاد اشکال زمین ریخت شناسی خاصی می شود(Ford & Williams, 2007). مطالعه سازندهای کارستی شونده به دلیل اینکه تقریبا ۲۰ درصد از سطح کره زمین بر روی سازندهای کربناته قرار گرفته و جمعییت قابل تتوجهی از جهان یا بر روی منابع کارستی زندگی می کنند یا آب مورد نیاز خود را از آن تامین می کنند، دارای اهمیت فوق العاده زیبادی است (La Moreaux, 1991). در کشور ما حدود ۱۱درصد از کل کشور از سازند های کارستی تشکیل شده است (افراسیابیان،۱۳۷۷). یکی از عوامل بسیار مهمی که بر روی پتانسیل آبی سازندهای کربناته کارستی شونده تاثیر گذار است توسعه فرایند کارستی شدگی در ایین سازندها می باشد که این پدیده وابستگی زیادی به ژئوشیمی سنگ های کارستی شونده دارد. در چند دهۀ گذشته منابع آب کارست، به دلیل ویژگیهای خاص خود، در پیشبرد اهداف عمرانی اهمیت بسیار یافته و توجه برنامه ریزان و مدیران را به خود جلب کرده است. در مناطق خشک و نیمه خشک، آب نقش بسیار مهم و تعیین کننده ای در توسعۀ آینده دارد (De Jong et al, 2008). اصطلاح آبخوان کارستی دربرگیرندۀ نواحی کارستی در سنگهای کربناته است که توسعۀ کم یا زیاد کارست را به ترتیب در آبخوان با جریان افشان یا جریان مجرایی ایجاد میکند (Atkinsson, 1977). آبخوان های کارستی، مخازن زیرزمینی ناهمگنی هستند که آب در شبکه های مرتبط به هم، شکاف ها، مغاره ها و مجاری درون آنها جمع می شود. سطح ایستابی در آنهها، پیوسته نیست و دارای شیب منطقه ای و محلی است. مناطق کارستی آب آشامیدنی ۲۲ درصد از جمعییت جهان را تتامین ممی کنند (Ford & Williams, 2007). در آبخوان های کارستی، عوارض مورفولوژیک کارستی و ویژگی های زهکشی، الگوی زمانی و مکانی رسوب گگذاری در این مناظر را کنترل می کنند (Evan & Stephen, 2005). موضوع کارست در کشور ایران از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ زیرا با وجود اینکه این کشور جزء کشور های کم باران محسوب می شود، کارست ها بیش از ۱۰ درصد پهنه آن را به خود اختصاص داده انند (رازمند، ۱۳۸۵).

میزان توسعۀ کارست، عامل ایجاد ناهمگنی در جریان آب زیرزمیننی و هدایت هیدرولیکی آبخوانههای کارستی است (Mangin, 1985). لذا مطالعات هیدروژئولوژیکی در آبخوان های کارستی ببه دلییل ایین ننهمگنی و پیچییدگی هها در محیطهای کارستی دشوار می باشد (Padilla & Pulida-Bosch, 1995). مناطق دارای سنگ های کربناته کارستی شده ببدون پوشش خاک، نشان دهنده مناطق تغذییه خودزا[1] ببوده و ممی تتوان انتظار داشت ۳۱ درصد ببارش در آنهها نفوذ کنند (Goldscheider and Drew, 2004). ژئومورفولوژی سطحی تاثیر زیادی در نوع و چگونگی تغذییه آبخوان های کارستی دارد (باقری سیّد شکری و همکاران، ۱۳۹۲). با این وصف نقش این سنگ ها در جذب و تغذیه منابع آب زیر زمینی در مناطق خشک و کم بارش مورد توجه بیشتری می باشد.

روش هایی همچون آزمون پمپاژ و ردیابی برای شناخت ویژگی های آبخوان های کارستی مفید است، اما ببه عللت مقیاس تحقیقاتی محدود، اطلاعات کافی را فراهم نمی کنند، یا به دلیل هزینۀ زیاد امکان معمولا استفاده گسترده از آنهها وجود ندارد. انتخاب رویکرد مناسب در مطالعۀ آبخوان های کارستی به عواممل زیبادی، مانننند ویژگگی های سیستم کارستی، نتایج مورد نظر، داده های موجود، هدف و دقت پژوهش، منابع مالی، زمان و.... مرتبط است (Jemcov & Petric, 2009). مطالعه نسبت غلظت عناصر، از روشهای کارآمد در زمینه انحلال پذیری سنگهای کارستی است که در قالب بررسی مجموعه داده های حاصل از آنالیز عنصری انجام می شود. فراوانی آلومینیوم در کارست با عناصر فلزی مانند آهن، نیکل، کروم و سرب ارتباط مستقیم دارد (Vesper and White, 2003). میکاچ[2] و همکاران (۲۰۱۱) همبستگی مییان آلومینییوم ببا ککروم، ممس و کادمیوم و عدم همبستگی با آهن و منگنز را در رسوبات کارستی پارک ملی لوتز پلوتوویس در کرواسی گزارش کرده اند.

با توجه به وابستگی میزان انحلال پذیری سنگ های کربناته به غلظت عناصر فللزی و غییر فللزی موججود در ترکییب شیمیایی آنها، مطالعه عنصری می تواند راهکاری جهت تعیین درجه انحلال پذیری باشد. پرواضح است ککه ششدت کارستی شدن این سنگ ها وابسته به میزان انحلال بوده و گسترش کارست توان مخزنی در این سنگ ها را افزایش ممی دهد. باید

1 - Autogenic
2 - Mikac

توجه داشت در طبیعت شرایط بسیار پیچیده ای بر فرایندهای کارستی شدن سنگ های کربناته حکم فرما است. ژیونگ[3] و همکاران (۲۰۰۹) معادلات مربوط به انحلال کارست در طبیعت را که از سوی ککائو[4] (۲۰۰۵) معرفی شده ببود ممورد بازنگری قرار داده اند. در این میان توالی زمین شناسی هر منطقه عامل مهمی در انحلال سنگ و شکل گیری مخزن آب زیرزمینی در تشکیلات کارستی دارد. لذا با مطالعه توالی زمین شناسی و آنالیز عنصری سنگ های کارستی ممی تتوان ببه شناسایی و معرفی پتانسیل های ذخیره و استحصال آب زیرزمینی پرداخت.

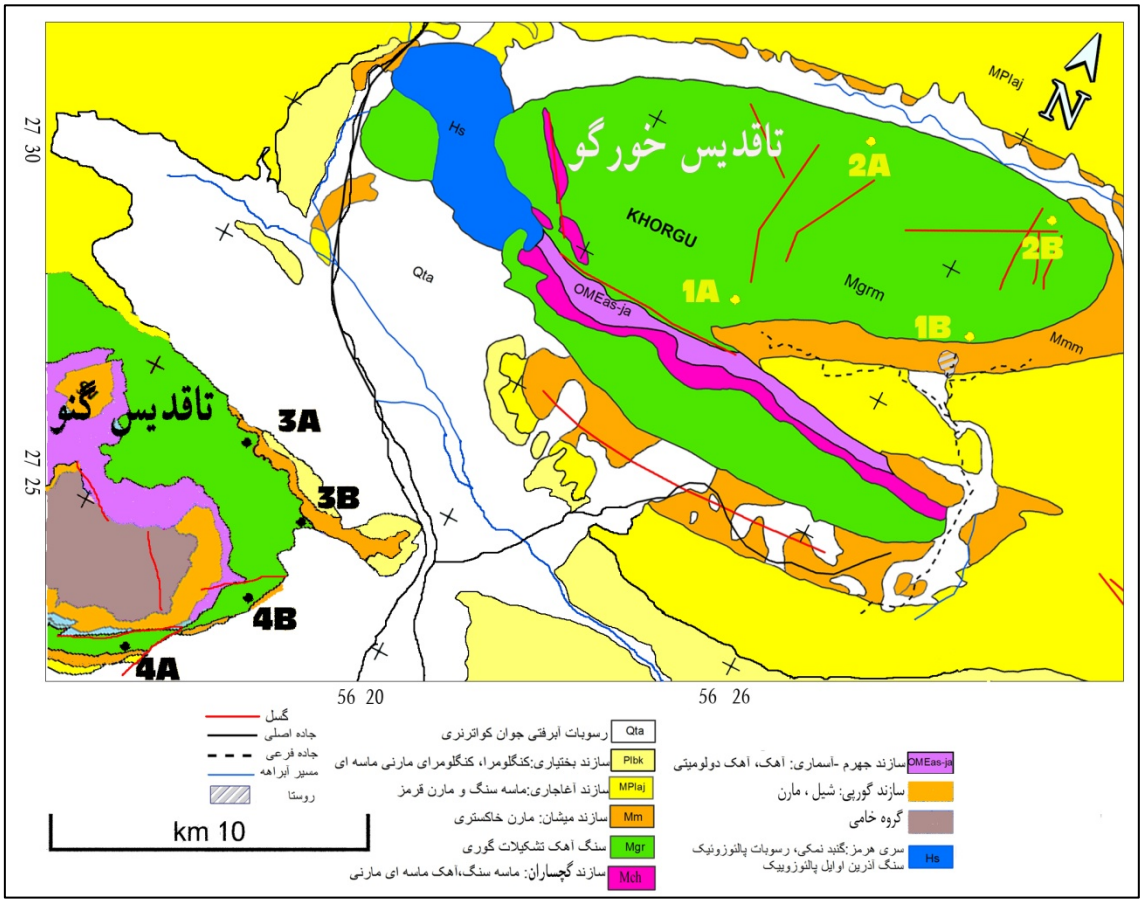
استان هرمزگان به عنوان یکی از مناطق در حال توسعه کشور از نظر صنعتی و تجاری تلقی ممی گگردد. ببه دنببال ایین توسعه، افزایش جمعیت استان با نرخی بیش از میانگین نرخ رشد جمعیت کشور و معادل ۲/۵ درصد تعیین شده که بخششی از آن را جمعیت مهاجر تشکیل داده اند (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). این امر موجب افزایش تقاضا و مصرف آب در بخش های صنعتی و مسکونی در این استان شده است. بخش عمده ای از این تقاضا در شهر بندرعباس به عنوان مرککز استان و قطب اصلی توسعه صنعتی و تجاری می باشد. لذا تامین آب مورد نیاز به یکی از دغدغه های اصلی در این استان تبدیل شده است. این پدیده سبب استخراج شدید از آب های زیرزمینی و بروز مخاطرات گسترده ناشی از برداشت بی رویه شده است. در ایین میان، منابع آبی کارستی، با توجه به توان بازپروری مناسب در طی عملیات تغذیه، می توانند یکی از منابع قابل تامل جههت تامین آب مورد نیاز مناطق مسکونی، صنعتی و تجاری در استان هرمزگان تلقی گردند.

ویژگی های منطقه مطالعه

منطقه مورد مطالعه پژوهش، در استان هرمزگان در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال بندرعباس در ناحیه ای بین عرض های شمالی ′۳۲-°۲۷ تا ′۳۶-°۲۷ و طول های شرقی ′۳۰-°۵۵ تا ′۳۰-°۵۶ واقع شده است. محدوده مطالعه دارای اقلیم گگرم و خشک با متوسط دمای سالانه ۲۶/۹ درجه سلسیوس و متوسط بارش ۵۰ ساله ۶۲/۹ میلیمتر (بندرعباس) تا ۶۶/۶ میلیمتتر (کل، مهران و مسیل های ساحلی) می باشد (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۱۳۹۷). از نظر زممین شناسی ایین محدوده در بخش منتهی الیه شرقی زون زمین شناختی زاگرس چین خورده واقع شده است. از دیدگاه چینه شناسی، گروه های خامی، بنگستان و فارس به همراه تشکیلات نمکی هرمز، بخش اصلی برونزدهای سنگی این دو تاقدیس را تششکیل ممی دهنند. ببه لحاظ ارتفاع توپوگرافی و شدت اثر تکتونیک و شکستگی ها، همه این واحدهای سنگی در تاقدیس گننو برونزد داششته و در تاقدیس خورگو فقط گروه فارس در سطح رخنمون دارند (شکل ۱). گروه فارس مشتمل بر سازندهای گچساران، میشان و آغاجاری می باشد. سازند گچساران در منطقه، شامل تناوبی از لایه‌های انیدریت و ژیپس با لایه‌های نازک آهک و مارن‌های قرمز و خاکستری و گاهی شیل‌های قیری به سن میوسن آغازی است (سالاری سرگرو و رضایی، ۱۳۹۴). سازند میشان شامل دو بخش، عضو آهک ضخیم لایه فسیل دار گوری و لایه های مارن های میشان ممی باشند ککه آههک هها، پتانسیل کارستی شدن زیادی دارند (مکی و همکاران، ۱۳۹۵). این سازند را طبقات آهکی کرم شکل[5] تشکیل می دهند که در تناوب با مارن های خاکستری هستند و در جهت جانبی به سنگ آهک های ریفی مقاوم بخش گوری تبدیل می شوند. بقیه ردییف شامل مارن های خاکستری با میان لایه های سنگ آهک رسی صدف دار و متراکم تر است (شکل ۲). نهشته های این سازند در ناحیه فروافتادگی دزفول و بندرعباس گسترش وسیعی داشته و از پایین و بالا بین سازندهای گچساران و آغاجاری ققرار دارد (امیری بختیار، ۱۳۹۳). در تاقدیس خورگو سنگ آهک گوری پوشش اصلی برونزد تاقدیس بوده و در هر دو یال شمالی و جنوبی سطح کامل آبگیر باران را شکل داده است. در مقابل در تاقدیس گنو، این واحد سنگی در بال شمالی رخنمون های گسترده تری نسبت به یال جنوبی داشته و واخد های سنگی قدیمی تر گسترش بیشتری دارند (شکل ۱). سازند آغاجاری از

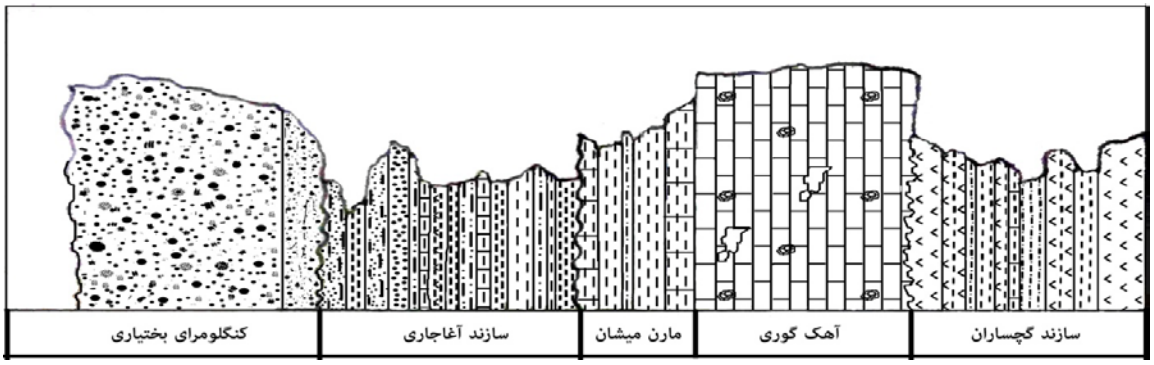
3 - Xiong
4 - Cao
5 - Worm beds

لایه های رسی، لایه های مارن، مارن آهکی، سیلتستون و ماسه سنگ آهکی تشکیل شده ککه در بخش فوقانی آن میان لایه‌های کنگلومرایی وجود دارد. این سنگ رخساره بیانگر آن است که سازند آغاجاری دریک محیط رسوبی از نوع رودخانه مئاندری واقع دردشت ساحلی مجاور دریا و با اقلیم گرم نیمه خشک تا خشک بجای گذاشته شده است. رخساره آهکی آن نیز معرف پیش روی محدود آب دریا در دشت ساحلی می باشد. درگستره مورد مطالعه ایین سازند ببا مرزهایی از نوع ناپیوستگی فرسایشی برروی سازند میشان و زیرسازند بختیاری قراردارد (رضایی، ۱۳۹۱). سازند بختیاری در شمال بندرعباس بصورت دگرشیبی زاویه دار یا فرسایشی روی سازند آغاجاری دیده می شود. در کنتاکت فوقانی، در بعضی نقاط رسوبات آبرفتی جوان تری وجود دارد. در این سازند فسیل های قابل تشخیص یافت نشده و طبق نقشه زمین شناسی منطقه، سن آن پلیوسن پایانی و جوان تر از آن ذکر شده است. فرسایش ارتفاعات و انباشتگی آنها در دامنه و مناطق پست، موجب تشکیل رسوبات کنگلومرایی این سازند گردیده است (معصومی و آذرفر، ۱۳۹۳).



شکل ۱- نقشه زمین شناسی تاقدیس های خورگو و گنو و موقعیت نقاط نمونه برداری

این تشکیلات از واحدهای مختلفی تشکیل شده‌اند که از نظر انحلال در آب و نفوذپذیری با یکدیگر متفاوت‌انند. توانایی کارستی شدن سازند سروک بیشتر از سایر واحدها است؛ بر عکس آهک‌های نازک لایه توانایی کارستی شدن کمتری دارنند. در حقیقت آهک‌های گروه خامی و بنگستان در این منطقه آهک‌های دارای نفوذپذیری بیشتری هستند و در صورت ففراهم بودن سایر شرایط می‌توانند سنگ مخزن مناسبی برای ذخیره آب باشند. لیکن با توجه به سطح ارتفاع و گستردگی سطحی، آهک گوری سازند میشان در هر دو تاقدیس، سطح بارش پذیر قابل توجهی را شکل داده است.



شکل ۲– شماتیک ستون چینه شناسی گروه فارس در شمال بندرعباس (بدون مقیاس و لایه بندی)

مواد و روش‌ها

در این پژوهش باتوجه به اقلیم خشک و خشکسالی چندین ساله منطقه و نیاز روز افزون به آب و استفاده بهینه از منابع آبی موجود، به مطالعه آبخوان کارستی پرداخته شده است. مهمترین ایده در این راه وجود واحدهای سنگی آهکی و آهک دوللومیتی مساعد ببرای کارستی شدن؛ توسعه یافتگی سیستم های شکستگی ناشی از گسل‌ها و هوازدگی مکانیکی، گردش آب در توده آهکی و فرآیند انحلال در سنگ های کربناته منطقه می باشد. بدین منظور پس از انجام مطالعات اولیه و گردآوری اطلاعات پایه، ابتدا ببا تفسیر بصری تصاویر ماهواره ای، براساس نقشه های زمین شناسی موجود، نسبت به تهیه پلان علمیات میدانی اقدام شد. سپس طی چهار مرحلله عملییات میدانی، نسبت به شناسایی عوارض کارستی، بررسی سنگ چینه ای و نمونه برداری از واحدهای سنگی آهک گوری در یال های جنوبی و شمالی تاقدیس های گنو و خورگو اقدام گردید. در این مرحله تعداد ۸ نمونه سنگی جهت انجام مطالعات آزمایشگاهی برداشت شد. از این تعداد دو نمونه از یال جنوبی تاقدیس خورگو (1A و 1B)، دو نمونه از یـال شـمالی ایـن تاقـدیس (2A و 2B)، دو نمونه از یال شمالی تاقدیس گنو (3A و 3B) و دو نمونه از یال تاقدیس گنو جنوبی (4A و 4B) برداشت شده است (شکل ۱).

به منظور شناسایی مشخصات ژئوشیمیایی سنگ آهک گوری، هریک از نمونه ها در آزمایشگاه زرآزما پرشیا، پس از آماده سازی (آسیاب، پرس و تهیه قرص های همگن مواد پودری فشرده) مورد آنالیز فلورسانس پرتو ایکس[6] قرار گرفته است. بررسی پتانسیل انحلال سنگ آهک گوری تحت شرایط اقلیمی منطقه به روش ژیونگ و همکاران (۲۰۰۹) انجام شده است. همچنین بررسی همبستگی پارامترهای ژئوشیمیایی سنگ نیز به استناد مدل های وسپر[7] (۲۰۰۲) و شکری[8] و همکاران (۲۰۱۸) صورت گرفته است.

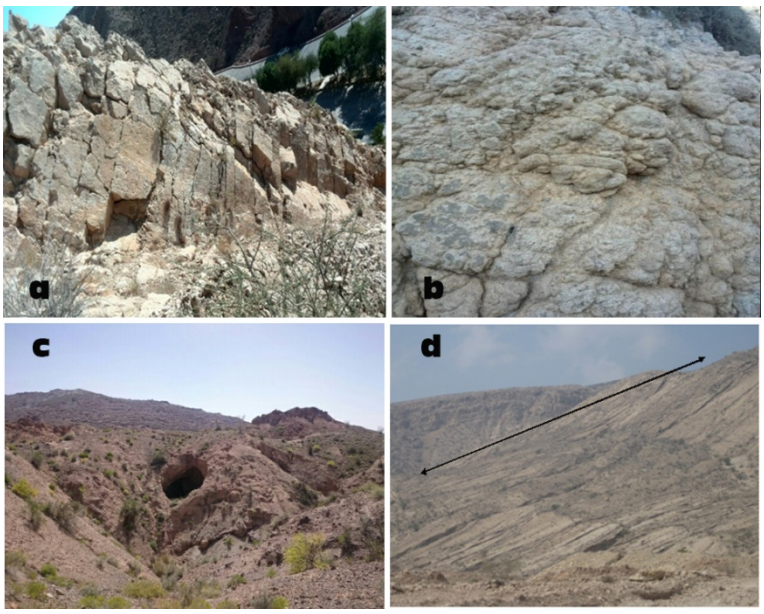
نتایج و بحث

براساس مشاهدات میدانی، عضو گوری در منطقه مطالعه از سنگ آهک فسیل دار، ضخیم لایه توده ای خرد شده و دارای ششواهد کارست سطحی و عمقی تشکیل شده است (شکل ۳). تماس زیرین این واحد سنگی در تاقدیس گنو با مارن ژیپس دار و در تاققدیس خورگو با انیدریت و مارن ژیپس دار می باشد. در سطح فوقانی نیز در هر دو تاقدیس آهک گوری با مارن و آهک مارنی سازند میشان ادامه یافته و مادستون و مارن های سازند آغاجاری آنها را می پوشانند. براین اساس در این توالی صرفا آهک گوری بواسطه شکستگی و انحلال، دارای نفوذ پذیری و قابلیت مخزنی آب می باشد. بدین ترتیب با توجه به موقعیت در ستون سنگ چینه منطققه، ایین واحد می‌تواند آبخوان های محصور را شکل دهد. از آن جایی که از نظر سن، آهک گوری جوان تترین واحد کارستی و از نظر عمق، ککم عمق‌ترین واحد در ستون چینه شناسی می باشد، کم عمق ترین منابع آب زیر زمینی در مناطق بدون پوشش آبرفت دارای ذخییره آب را دارا می باشد.

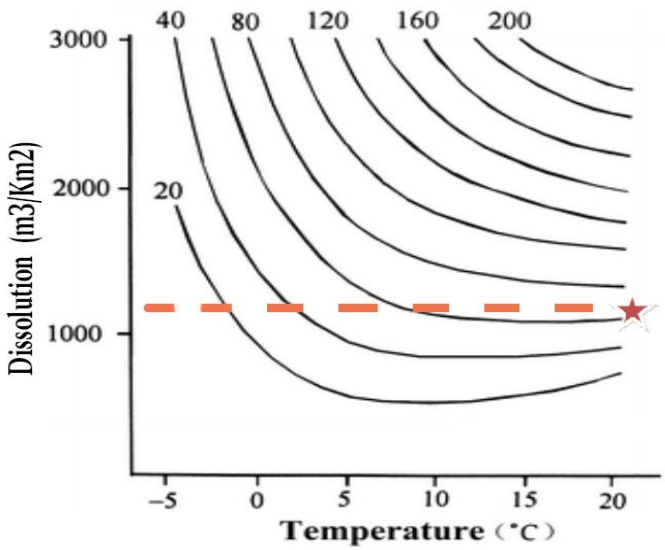
فرایند انحلال کربنات ها با حل شدن دی اکسید کربن در آب و تشکیل اسید کربنیک آغاز می شود. از آنجا که میزان انحلال گگاز کربنیک در آب با دمـای آب رابطـهٔ معکـوس دارد هرچه دمای آب پایین تر رود، با فرض ثابت بودن فشار گاز کربنیک، میزان بیشتری از دی اکسید کـربن در آب حل و اسید قوی تری تشکیل می شود. در نتیجه، میزان یون هیدروژن تولید شده با اسید بیشتـر ببوده و

6 - X-ray fluorescence
7 - Vesper
8 - Shokri

قابلیت انحلال کربنات کلسیم نیز بیشتر خواهد شد. با اختلاط اسید کربنیک با سنگ های کربناته، این سنگ ها در آب حل خواهند شد. هرچند در شرایط آزمایشگاهی انحلال سنگهای آهکی از شرایط توصیف شده تبعیت می کند، لیکن در طبیعت شرایط بسیار پیچیده تری بر فرایندهای کارستی حکمفرما است. ژیونگ و همکاران (۲۰۰۹) معادلات مربوط به انحلال کارست در طبیعت را که از سوی کائو (۲۰۰۵) معرفی شده بود در قالب نموداری به نمایش گذاشتند (شکل ۴). بنابراین اساس زمانی که دمای هوا کم است، تغییرات بارش تاثیر اندکی بر میزان انحلال کارست دارد، اما زمانی که دمای هوا به ۲۰ درجهٔ سلسیوس می رسد، با افزایش بارش میزان انحلال کارست به سرعت افزایش می یابد (Xiong et al, 2009). با توجه به میانگین دمای سالانه منطقه مورد مطالعه که بالاتر از ۲۰ درجه سلسیوس می باشد، واحدهای سنگی آهکی دارای پتانسیل انحلال پذیری و کارستی شدن قابل توجهی هستند. همانگونه که در شکل ۴ مشخص شده است، این پتانسیل تحت متوسط بارش سالانه کمتر از ۷۰ میلیمتر، حداقل ۱۲۰۰ متر مکعب در کیلومتر مربع خواهد بود (شکل ۳). شایان ذکر است در هر دو تاقدیس گنو و خورگو بواسطه عملکرد تکتونیک فعال، سیالات اسیدی در قالب چشمه های آب گرم با دمای بیش از ۳۸ درجه سلسیوس وجود دارد که این امر خود سبب تشدید فرایند انحلال کربنات ها و کارستی شدن می گردد.



شکل۳– a درزه و شکستگی های آهک گوری در تاقدیس گنو. b عوارض کارستی سطحی کارن در تاقدیس گنو. c غار و عوارض کارست عمقی در تاقدیس خورگو. D سطح رخنمون اهک گوری در یال جنوبی تاقدیس خورگو.



شکل۴– پتانسیل کمینه انحلال کربنات ها برحسب دما و بارش (منحنی های نمودار) در منطقه مطالعه

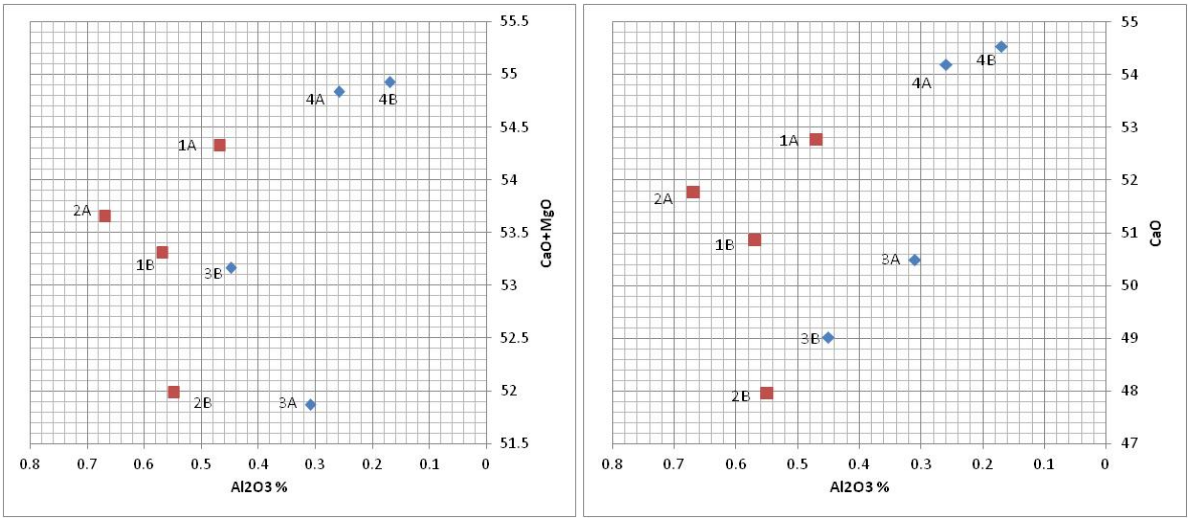
این پتانسیل قابل توجه کارستی شدن خود تابع شرایط ژئوشیمیایی سنگ می باشد. زیرا شرایط ژئوشیمیایی می توانند تاثیر بسزایی در فرایند انحلال داشته باشند. در این میان Ca و Mg نمایی از کانی های کرناته کلسیت و دولومیت، Al نمایی از کانی های رسی و Fe و Mn نمایی از فرایندهای ژئوشیمیایی احیا کننده کانی ها هستند. همچنین غلظت آلومینیوم در کارست نمودی از فلزات دیگر می باشد، بطوری که رابطه مستقیم با As, Cr, Pb, Ni و Fe دارد (Vesper, 2002). سیلیس به دو صورت ناخالصی و ذرات کوارتز یا کوارتز مجدد متبلور شده در سنگ آهک نمود پیدا می کند. بدین ترتیب با توجه به نتایج آنالیز XRF سنگ آهک گوری شرایط ژئوشیمیایی مورد بحث قرار گرفته است (جدول ۱). در جدول ۱ غلظت درصد اکسیدهای سیلیسیوم، آلومینیوم، کلسیم، آهن، منیزیوم و منگنز در ۸ نمونه مورد آنالیز قرار گرفته، ذکر شده است.

براساس نتایج این آنالیز نمونه های واقع در یال جنوبی تاقدیس گنو دارای کمترین غلظت SiO_2 هستند که این امر نشان دهنده درجه خلوص بالاتر این بخش از سنگ آهک می باشد. تبخیر شدیدتر و رطوبت جوی بالاتر به لحاظ واقع شدن در یال جنوبی و سطح رخنمون کم وسعت تر می تواند دلیلی بر جریان سیال ضعیف تر و عدم تبلور سیلیس در شکستگی های سنگ و دلیل این مسئله باشد. برعکس این مسئله در یال شمالی تاقدیس خورگو نمود دارد، بطوری که بیشترین غلظت SiO_2 در این بخش مشاهده شده است. قرار گرفتن در یال پشت به تابش خورشید، تبخیر ضعیف تر و رطوبت جوی کمتر به لحاظ واقع شدن در یال شمالی و سطح رخنمون وسیع در این تاقدیس، می تواند دلیلی بر جریان سیال قوی تر و تبلور سیلیس در شکستگی های سنگ باشد. شایان توجه است که مشابه این روند در مورد غلظت Al_2O_3 نیز مشاهده می گردد. غلظت Fe_2O_3 و MnO آهک گوری در تاقدیس خورگو بیشتر از تاقدیس گنو است. با توجه به سطح رخنمون بسیار وسیع تر در تاقدیس خورگو انتقال قوی تر این یون ها از آهک های مارنی و مارن های فوقانی عضو گوری به درون آهک دلیلی بر این امر می تواند باشد. همچنین غلظت یون Mg در نمونه های اخذ شده از یالهای شمالی، بیشتر از نمونه های یالهای جنوبی بوده و در این بخش ها آهک گوری دولومیتی شده تر است.

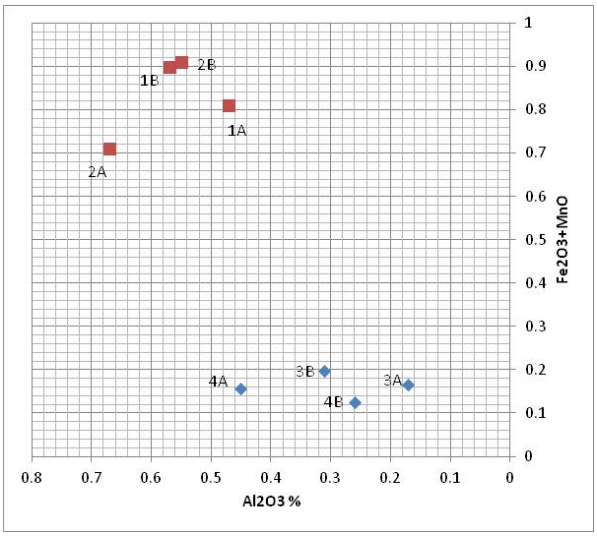
جدول ۱ – نتایج آنالیز XRF نمونه های سنگ آهک گوری

شماره نمونه	SiO_2%	Al_2O_3%	CaO%	Fe_2O_3%	MgO%	MnO%
1A	۲/۴۸	۰/۴۷	۵۲/۷۷	۰/۸	۱/۵۶	۰/۰۱۲
1B	۴/۴۱	۰/۷۷	۵۰/۸۷	۰/۸۹	۲/۴۵	۰/۰۱۳
2A	۵/۱۳	۰/۶۷	۵۱/۷۷	۰/۷	۱/۸۹	۰/۰۱۱
2B	۷/۰۰	۰/۵۵	۴۷/۹۶	۰/۹	۴/۰۳	۰/۰۱۴
3A	۳/۵۱	۰/۳۱	۵۰/۴۸	۰/۱۹	۱/۳۹	۰/۰۰۷
3B	۱/۰۹	۰/۴۵	۴۹/۰۱	۰/۱۵	۴/۱۶	۰/۰۰۶
4A	۱/۲۹	۰/۲۶	۵۴/۱۹	۰/۱۲	۰/۶۵	۰/۰۰۵
4B	۰/۹۶	۰/۱۷	۵۴/۵۴	۰/۱۶	۰/۳۹	/۰۰۶

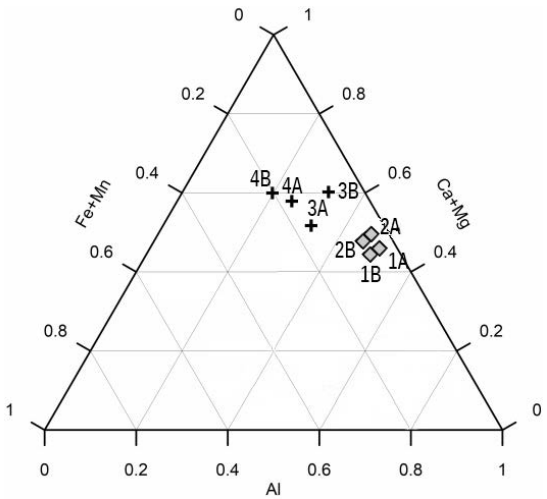
در نمودارهای ۵ و ۶ غلظت اکسیدهای آلومینیم در مقابل کلسیم، منیزیوم و کلسیم و آهن و منگنز قرار داده شده است. باتوجه به غلظت بیشتر عناصر فلزی در تاقدیس خورگو می توان گفت، جریان سیالات و انتقال آنها به درون تشکیلات کارستی در این تاقدیس شدیدتر بوده و این امر نشانه انحلال قوی تر در این تاقدیس می باشد. این امر علاوه بر افزایش غلظت عناصر فلزی موجب دولومیتی تر شدن آهک گوری در تاقدیس خورگو نسبت به تاقدیس گنو شده است. با برازش سه گانه اجزای ژئوشیمیایی مورد مطالعه، در نمودار مثلثی شکل ۷ که مستند به تحقیق انجام شده توسط وسپر (۲۰۰۲) می باشد، موقعیت نمونه های تاقدیس های خورگو و گنو تفکیک شده است. همچنین نمونه های یال های شمالی و جنوبی این دو تاقدیس نیز در وضعیت های تفکیک شده قرار گرفته اند. بر این اساس از نظر شرایط سنگ شناختی و ژئوشیمیایی، یال های شمالی هر دو تاقدیس شرایط انحلالی و کارستی شدن شدیدتری نسبت به یال های جنوبی دارند. لذا باتوجه به موقعیت تکتونیکی این تاقدیس ها در توالی تاقدیس ها و ناودیس های زاگرس چین خورده، انتظار شکل گیری آبخوان محصور ناودیسی در امتداد یال های شمالی هر دو تاقدیس وجود دارد. در مقایسه میان دو یال جنوبی، تاقدیس خورگو بواسطه موقعیت تکتونیکی قرار گرفته در تقاطع گسله با تاقدیس سرزه (شکل ۱)، دارای شرایط مناسب تری برای شکل گیری آبخوان کارستی می باشد. شایان توجه است که وجود چشمه های آب گرم و سرد در دامنه های شمالی هر دو تاقدیس و دامنه جنوبی تاقدیس خورگو موید این یافته ها می باشند.



شکل ۵– مقایسه غلظت آلومینیم و کلسیم و منیزیم آهک گوری در تاقدیس های خورگو و گنو



شکل ۶– مقایسه غلظت آلومینیم و آهن و منگنز آهک گوری در تاقدیس های خورگو و گنو



شکل ۷– نمودار داده های ژئوشیمیایی اکسیدهای اصلی آهک گوری در تاقدیس های خورگو و گنو (استناد به وسپر، ۲۰۰۲)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- آهک گوری در شمال بندرعباس، بواسطه شکستگی و انحلال، دارای نفوذ پذیری و قابلیت مخزنی آب می باشد. بدین ترتیب با توجه به موقعیت در ستون سنگ چینه منطقه، این واحد می تواند آبخوان های محصور را شکل دهد. از آن جایی که از نظر سن، آهک گوری جوان ترین واحد کارستی و از نظر عمق، کم عمق ترین واحد در ستون چینه شناسی می باشد، کم عمق ترین منابع آب زیر زمینی در مناطق بدون پوشش آبرفت دارای ذخیره آب را دارا می باشد.
- با توجه به میانگین دمای سالانه منطقه مورد مطالعه که بالاتر از ۲۰ درجه سلسیوس می باشد، واحدهای آهکی گوری دارای پتانسیل انحلال پذیری و کارستی شدن قابل توجهی می باشد. این پتانسیل با درنظر گرفتن متوسط بارش سالانه کمتر از ۷۰ میلیمتر، حداقل ۱۲۰۰ متر مکعب در کیلومتر مربع خواهد بود.
- با توجه به شرایط مورفولوژیکی و اقلیمی غلظت SiO_2 و Al_2O_3 در یال شمالی تاقدیس های خورگو و گنو نسبت به یال جنوبی این دو تاقدیس بیشتر است. که این امر نشان دهنده درجه خلوص بالاتر این بخش از سنگ آهک می باشد.
- با توجه به سطح رخنمون بسیار وسیع تر آهک گوری در تاقدیس خورگو نسبت به تاقدیس گنو، انتقال یون های Fe و Mn از آهک های مارنی و مارن های میشان به درون آهک شدیدتر بوده و موجب افزایش مقادیر Fe_2O_3 و MnO در این منطقه شده است.
- باتوجه به غلظت بیشتر عناصر فلزی در تاقدیس خورگو می توان گفت، جریان سیالات و انتقال آنها به درون تشکیلات کارستی در این تاقدیس شدیدتر بوده و این امر نشانه انحلال قوی تر در این تاقدیس می باشد.
- براساس مطالعات سنگ شناختی و ژئوشیمیایی، یال های شمالی هر دو تاقدیس شرایط انحلالی و کارستی شدن شدیدتری نسبت به یال های جنوبی دارند. لذا باتوجه به موقعیت تکتونیکی این تاقدیس ها در توالی تاقدیس ها و ناودیس های زاگرس چین خورده، انتظار شکل گیری آبخوان محصور ناودیسی در امتداد یال های شمالی هر دو تاقدیس وجود دارد.
- باتوجه به شرایط اقلیمی و خشکسالی چندین ساله در منطقه مورد مطالعه، انتقال آبهای سطحی به آبخوان های منطقه در مقابل ذخیره سازی سطحی اولویت داشته و منطقی تر می باشد. لذا انجام مطالعات ژئوفیزیکی تکمیلی جهت شناسایی عوارض کارستی عمقی و ابخوان های کارستی می تواند راهکاری جهت تغذیه مصنوعی آنها بوده و امکان تامین آب جهت مصارف مختلف را فراهم آورد.

منابع

- افراسیابیان، آ . ۱۳۷۷. اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران، مجموعه مقالات.
- امیری بختیار، ح. ۱۳۹۳. بازنگری چینه شناسی زاگرس: سازندهای آغاجاری و میشان. ماهنامه علمی ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز. شماره ۱۱۰. ص ۳۹-۴۳.
- باقری سیدشکری، س. یمانی، م. جعفربیگلو، م. کریمی، ح. مقیمی، ا.۱۳۹۲. ارزیابی ویژگیهای هیدرودینامیکی آبخوانهای کارستی با استفاده از آنالیز سریهای زمانی (مطالعه موردی آبخوانهای کارستی گیلان غرب و خورین در استان کرمانشاه. پژوهش های ژئومورفولوژی کمّی. سال دوم. شماره ۳. ص ۱-۱۶.
- دفتر مطالعات منابع آب. ۱۳۹۷. گزارش بارندگی تجمعی روزانه به تفکیک حوضه‌های آبریز درجه یک و درجه دو کشور. وزارت نیرو. شرکت مدیریت منابع آب ایران.
- رازمند، م. ۱۳۸۵. بررسی روش های تامین آب شرب بندرعباس در مواقع خشکسالی و کم آبی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبشناسی. دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات تهران.
- رضایی, پیمان. ۱۳۹۱. سنگ چینه نگاری و سنگ رخساره های سازند آغاجاری در باختر بندر عباس (برش سورو). اولین همایش زمین شناسی فلات ایران. کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.
- سالاری سرگرو، ش. رضایی، پ. ۱۳۹۴. مطالعه سنگ رخساره ها و محیط رسوبی سازند گچساران در باختر بندرعباس. پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی سال سی و یکم، شماره پیاپی،۵۹ شماره دوم. ۱۹-۳۴.

- مرکز آمار ایران. ۱۳۹۵. گزیده نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ استان هرمزگان.
- معصومی، ح.ر. آذرفر، ف. ۱۳۹۳. رخساره و محیط رسوبی سازند بختیاری در شمال غرب بندرعباس. هجدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. تهران . دانشگاه تربیت مدرس.
- مکی، س. رضائی، پ. پیروان، ح.ر. ۱۳۹۵. بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش آبی در رسوبات مارنی سازندهای میشان و آغاجاری در باختر بندرعباس. پژوهش‌های فرسایش محیطی دانشگاه هرمزگان.جلد ۶، شماره ۱. ۵۱-۳۰.
- Atkinsson, T.C. 1977. Diffuse Flow and Conduit Flow in Limestone Terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain), Hydrol, Vol, 35, No. 1-2, PP. 93–103.
- Cao, J.H. Yuan, D.X. 2005. Karst ecosystem of southwest China constrained by geological setting. Geology Press, Beijing, 98- 116.
- De Jong, C. Cappy, S. and Funk, D. 2008. A Transdisciplinary Analysis of Water Problems in the Mountainous Karst Areas of Morocco. Engineering Geology, Vol. 99, No. 3-4, PP. 228-238.
- Evan A.Hart. Stephen G.Schurger. 2005. Sediment storage and yield in an urbanized karst watershed. J of Geomorphology. Volume 70, Issues 1–2, Pages 85-96.
- Ford, D.C. Williams, P. 2007. "Karst Hydrogeology and Geomorphology", John Wiley and Sons Ltd1, pp. 562.
- Ford, D.C. Williams, P. 2007. Jovan Cvijic and the founding of karst geomorphology, Environmental Geology 51.
- Goldscheider, N. Drew, D. 2004. Methods in Karst Hydrogeology. Taylor & Francis. London. 273.
- Jemcov, I. Petric, M. 2009. Measured Precipitation vs. Effective Infiltration and Their Influence on the Assessment of Karst Systems Based on Results of the Time Series Analysis, Hydrology, Vol. 379, No. 3-4, PP. 304-314.
- La Moreaux, P.E. 1991. History of karst hydro geological studies, International conference on Environmental changes in karst areas, Italy 15-17 sep. 1991; Universita di padova, pp. 215-229.
- Mangin, A. 1985. Progrès Récents Dans L'étude Hydrogéologique Des Karsts [Recent Progress in the Study of Karst Hydrogeology], Stygologia, Vol. 1, No. 3, PP. 239-257.
- Padilla A. Pulida-Bosch, A., 1995, Study of Hydrographs of Karstic Aquifers by Means of Correlation and Cross-spectral Analysis, Hydrol, Vol. 168, 1-4, PP.73–89.
- Shokri, M. Vesper, D, J. Herman, E, K. Rajic, L. Hetrick, K, L. Padilla, I, Y. Alshawabkeh, A, N. 2018. Bulk Chemistry of Karst Sediment Deposits. 15_{th} Sinkhole Conference. Shepherdstown, West Virginia, USA. 115-120.
- Vesper D, J. White W, B. 2003. Metal transport to karst springs during storm flow: An example from Fort Campbell, Kentucky/Tennessee, U.S.A. Journal of Hydrology 276: 20–36.
- Vesper DJ. 2002. Transport and Storage of Trace Metals in a Karst Aquifer: An Example from Fort Campbell, Kentucky. [Ph.D. Dissertation], Pennsylvania State University. 253 p.
- Xiong, Y. J. Qiu, G.Y. Mo, D.K. Lin, H. Sun, H. Wang, Q.X. Zhao, S.H. Yin, J. 2009. Rocky desertification and its causes in karst areas: a case study in Yongshun County, Hunan Province, China, Environmental Geology, June, Vol. 57, No.7, 1481-1488.