

ارزیابی رشد فروچاله‌های گچی و مخاطرات ناشی از آن (مطالعه موردی: دشت مارون)

مژگان انتظاری^۱

حمیده غلام حیدری^۲

حاجی کریمی^۳

چکیده

وجود سازندهایی که شامل لایه‌های گچی هستند زمینه ساز تشکیل اشکال کارستی گچی خواهد بود. میزان ستبری لایه‌های گچی و کیفیت این لایه‌ها در شکل گیری اینگونه اشکال تأثیرگذار است. دشت مارون، در بخش چین خورده ساده رشته کوه زاگرس در استان‌های خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد واقع شده است. وجود سازند گچساران و پدیده‌های کارستی گچی که مهمترین آنها فروچاله است در این دشت، می‌تواند تاثیر بسیار محربی بر جاده‌ها، تاسیسات، زمین‌های کشاورزی و واحدهای مسکونی و کیفیت آب مخزن سد مارون که در این دشت واقع شده است، داشته باشد؛ اما متأسفانه کمتر به شناخت و مطالعه این پدیده پرداخته شده است. در این پژوهش سعی شده است نرخ رشد و روند شکل گیری فروچاله‌های دشت مارون با استفاده از نمونه برداری از مساحت ۶،۲ هکتار از دشت مارون، نمونه آب بارش و رواناب تولیدی از روی سازندهای منطقه برآورد شود. به این منظور پس از پایش هشت ساعته رواناب یک زیرحوضه با مساحت ۵،۴ متر مکعب از سنگهای گچی به وسیله رواناب متوسط سالانه مشخص شد که به برداشت شد و با توجه به میزان املاح حاصل از انحلال گچ موجود در رواناب و همچنین برآورد میزان رواناب بصورت محلول خارج می‌شود و طور میانگین در یک زیرحوضه به مساحت ۶،۲ هکتار، سالانه ۳۷۶,۴ متر مکعب، ۶۹ سال زمان لازم است که این نرخ بالای رشد فروچاله‌ها می‌تواند برای ساکنین این مناطق بسیار مخاطره آمیز باشد چرا که وجود حفرات زیرزمینی و فروچاله‌ها میتوانند بستر ریزش‌های ناگهانی را مهیا کرده و صدمات جانی و خسارت‌های مالی را به دنبال داشته باشد.

واژگان کلیدی: فروچاله، سازند گچساران، کارست گچی، دشت مارون، TDS.

مقدمه

واژه کارست به مجموعه‌ای از فرایندهای زمین‌شناسی و پدیده‌های حاصل از انحلال سنگهای کربناته گفته می‌شود که با تجزیه و تخریب ساختمان این سنگ‌ها، رژیم آب‌سنگی بی‌همتایی شکل می‌گیرد و به تنشیکل لندرفمهای ویژه‌ای می‌انجامد (وزارت نیرو، تماپ، ۱۳۷۳). در مجموع همراهی سیستم هیدرولوژیک موثر و سازندهای تبخیری اعم از کربناته و سولفاته می‌تواند زمینه ساز شکل گیری اشکال کارستی باشد. یکی از سنگهایی که کارستی شدن به راحتی و به سرعت در آن اتفاق می‌افتد سنگ گچ (ژیپس و اندیریت) می‌باشد (وایت، ۱۹۸۸). سازندهای تبخیری گچی، ۸ درصد از سطح زمین را پوشانده و زیربنای ۲۵ درصد از سطح قاره‌های زمین را به خود اختصاص داده اند (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷). باید دانست که روی هم رفته ۸ عامل برای ایجاد و توسعه کارست لازم است. این ۸ عامل شامل، ریزش‌های جوی‌های آسمانی، ناهمواری‌ها، سنگ‌شناسی، ستبرای لایه‌های کربناتی، غلظت کربن، دمای پایین، فشار و شرایط

^۱. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول)

Email : m.entezari@geo.ui.ac.ir -Tel: 09133313193

^۲. دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان

^۳. استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه ایلام

زمین ساختی است (وایت^۱ ۱۹۸۸). فروچاله ها فرورفتگی‌های بسته‌ای هستند که آن‌ها را به عنوان علامت مشخصه چشم اندازه‌ای کارستی کربناته و تبخیری می‌شناسند. در سال‌های اخیر چندین طبقه بندی ژنتیکی برای فروچاله‌ها انتشار یافته است (گوتیرز^۲ و همکاران، ۲۰۰۸) که در این طبقه بندی‌ها فروچاله‌ها به دو گروه اصلی فروچاله‌های "انحلالی" و "فرونشستی" طبقه بندی شده‌اند. باید دانست که کارست گچی علیرغم رخداد گستردگی (کلیمچاک و همکاران، ۱۹۹۶) و اهمیت وابسته به آن از لحاظ کاربردی (مخاطرات، اثرات و منابع) کمتر مورد توجه قرار گرفته است این سنگ‌ها در کشور ما نیز گسترش زیادی دارند. در مطالعاتی که تا کنون در این زمینه انجام شده است می‌توان به پژوهش کوپر و گوتیرز اشاره کرد که به بررسی خطرات و مسائل زیست محیطی کارست ژیپسی پرداختند. بر اساس این بررسی مهم ترین خطر کارست گچی، تشکیل فروچاله‌ها و نشست زمین است که به صورت ناگهانی رخ می‌دهد و می‌تواند بر سازه‌هایی مانند راه‌ها، راه آهن، پل‌ها و کانال‌ها خسارت وارد کند. (کوپر و گوتیرز^۳: ۴۵۱؛ ۲۰۱۳). قبادی و موسوی (۱۳۸۶) مطالعه‌ای را در جهت آب بندی محل و مخزن سد انجام داده است. در این مطالعه خصوصیات فیزیکی و میزان انحلال پذیری نمونه‌های گچ مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی میزان انحلال پذیری گچ از مطالعات آزمایشگاهی استفاده شده است و این میزان 6 cm/s محاسبه شده است. نتایج به دست آمده نشان داده است که درزهای با بازشدگی $1/5$ میلیمتر بعد از ۱۰ سال حدود 20.5 میلیمتر گسترش می‌یابد. احمد عباس نژاد (۱۳۸۹) در یک پژوهش در دشت کرمان – باعین با استفاده از هیدروشیمی آب، اینگونه عنوان می‌کند که به علت بالابودن EC و نمایه انحلال سنگ‌های تبخیری وجود جریان قوی آب زیرزمینی از کوه به دشت، احتمال وجود غار در جنوب و نیز جنوب غربی اختیار آباد زیاد است. محمدیان و همکاران (۱۳۹۴) نیز پس از بررسی انحلال پذیری سنگ‌های گچی (ژیپس) سازند گچساران و اثرات زیست محیطی آن در شرق خوزستان، فراوانی ساختارها (درزهای و گسل‌ها) و عملکرد آب زیر زمینی را از عوامل اصلی تشکیل کارست در منطقه می‌دانند. همچنین اینگونه عنوان کرده‌اند که در نتیجه‌ی انحلال سنگ‌های ژیپسی، میزان TDS و میزان یون‌های سولفات در آب‌های سطحی و زیر زمینی باعث کاهش کیفیت آب شده و انحلال سریع سنگ‌ها سبب ایجاد فرونشست در منطقه گردیده است. طاووسی و همکاران (۱۳۹۷) میزان انحلال پذیری و اثر آن بر روی کیفیت آب مخزن سد پارسیان را بررسی کرده‌اند، نتایج به دست آمده از ۲۴ تست، سرعت انحلال سازند گچساران را داخل مخزن سد بسته به نوع ترکیب آن و نرخ انحلال سازند، از ۴ سانتی متر در سال تا ۱۲ سانتی متر برآورد کرده‌اند. کوپر و گوتیرز^۴ (۲۰۱۳) در پژوهشی در مورد مخاطرات کارست ژیپسی می‌گویند فرایند کارست زایی و لندرم‌های کارستی به بررسی و پژوهش ویژه نیاز دارند. نگارنگان می‌افزایند، کلید دانش حل مخاطرات ناشی از ایجاد کارست گچی، در کارست‌های زیر سطحی این مناطق نهفته هستند. کوپر و سندرز (۲۰۰۲)^۵ نیز در مطالعه‌ای، به مسائل و مشکلات عمرانی، به طور خاص جاده‌ها و سدها در مناطق کارست‌های ژیپسی انگلستان پرداختند. در این پژوهش مقاوم سازی زیرساخت‌های جاده‌ها و پل‌ها تنها راه حل قرارگیری این سازه‌ها در مجاورت این سازندگان به شدت انحلال پذیر معرفی شده است. همچنین کوپر (۲۰۰۶) مخاطرات انحلال ژیپس در ریپون، یورکشاير شمالی، اوکراین را مورد بررسی قرار داد و اینگونه عنوان کرد که انحلال آسان ژیپس به وسیله آب می‌تواند باعث بروز مسائلی همچون فرونشست گردد. صفاری و همکاران (۱۳۹۵) با مروری بر خصوصیات لندرم‌های کارستی در لایه‌های گچی، چند نکته مهم را گوشزد می‌کنند، یکی اینکه اساساً رخداد سازندگان گچی در سطح یا زیربنای یک منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است چرا که حتی اگر هم اکنون عوارض کارست گچی خاصی

¹ White 1988

² Gutierrez et al (2008)

³ Klimchouk et al (1996),

⁴ Gutierrez & Cooper, 2013

⁵ Cooper, H, Anthony, M. Saunders, Jonathan, (2002)



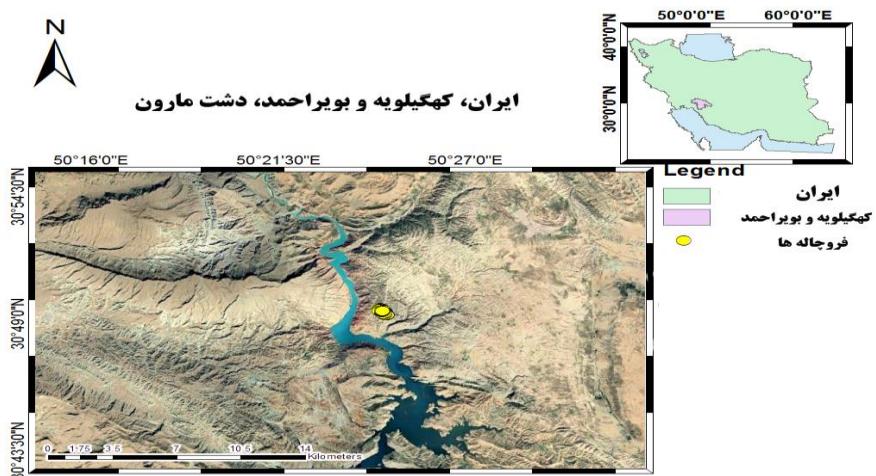
در آن وجود نداشته باشد، در اندک زمانی در اثر عوامل انسانی مانند آبیاری، برداشت آب، احداث و آبگیری سدها، معدنکاری، یا حتی تغییر کمی در شرایط اقلیمی به سرعت میتواند منجر به شکل گیری اشکال کارستی شود. نکته دوم اینکه بررسی عوارض کارست گچی در طول زمان بسیار مهم است، چرا که آنها میتوانند حتی در بازه های زمانی کوتاه نیز تغییرات قابل توجهی را نشان دهند. نکته دیگر اینکه فارغ از شکل های سطحی کارست گچی، کارست شدگی میان لایه ای که به صورت ویژه ای و به سرعت در گچ ها رخ میدهد میتواند از سوبی آبخوان های مناسبی را در چنین مناطقی ایجاد کنند و از سوبی دیگر مقدمه ای برای ایجاد فرونشست باشد. علی هیبت و ژی هو چاو (۲۰۱۹) فروچاله ها را یکی از تهدیدهای مهم تاسیسات شهری دانستند و یکی از عواملی که می تواند به راحتی فروچاله ها را در این مناطق گسترش دهد، نشت لوله های زیرزمینی مناطق مسکونی است. در پژوهش شولان ژو و همکاران (۲۰۲۰) که بر روی فروچاله های گچی انجام شده است این نتیجه حاصل شده که مهمترین عوامل موثر در شکل گیری کارست گچی، توپوگرافی، تکتونیک و سطح آب زیرزمینی و همچنین فعالیت های انسان است. در این پژوهش سعی شده است نتایج حاصل از دو مدل با مطالعات میدانی تطبیق داده شود تا مناسب ترین مدل در این ارتباط مشخص شود. نتیجه حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل AHP مدل مناسب تری است و نتایج حاصل از آن با نتیجه حاصل از مطالعات میدانی مطابقت دارد.

در پژوهش حاضر به دلیل اهمیت بسیار زیاد سازند تبخیری گچساران (با توجه به گسترش بسیار زیاد آن در نواحی زاگرس) و پدیده های کارستی مرتبط با آنها و موثر بودن این پدیده ها بر سازه های مهم از جمله جاده ها و تاسیسات، و همچنین سرعت بالای تشکیل آنها و به تبع آن پتانسیل بالای تحول و تکامل کارست های گچی در زاگرس، با استفاده از خصوصیات شیمیایی روان آب حاصل از بارش، میزان انحلال گچ تخمین زده شده است.

محدوده مورد مطالعه:

دشت مارون واقع در حوضه مارون، در بخش چین خورده ساده رشته کوه زاگرس در استان کهگیلویه و بویراحمد، در عرض ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۲ دقیقه و طول ۵۱ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه و در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بهبهان قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در مرز غربی استان خوزستان با استان کهگیلویه و بویراحمد قرار دارد. حوضه مارون بسته به ارتفاع دارای اقلیم متفاوتی است، با توجه به سیستم تقسیم بندی آب و هوایا در سیستم کوپن سه نوع اقلیم مدیترانه ای سرد، نیمه گرمسیری و نیمه خشک با تابستان خشک قابل تشخیص است. منطقه تپه ماهوری که محدوده مطالعاتی این پژوهش را شامل دارای آب و هوای نیمه گرمسیری می باشد. دشت مارون در محدوده زاگرس چین خورده قرار گرفته و سازنده های گچساران، آسماری، بختیاری، گورپی، میشان، سروک، پابده و رسوبات کواترنری از جمله واحدهای لیتوژئیک است که این منطقه جای گرفته اند. همچنین با بررسی آمار بارش روزانه دوره ۲۰ ساله، از سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۳۹۶ که در دسترس است، متوسط بارش سالانه حوضه مورد مطالعه ۴۶۷ میلیمتر محاسبه شده است.

¹ Shulan Guo et al



شکل ۱- نقشه موقعیت محدوده مطالعه در کشور و استان

داده ها و روش ها

جهت انجام این پژوهش در ابتدا مساحتی بالغ بر ۱۶۰۰۰ متر مربع از سازند گچساران واقع در دشت مارون که دارای تراکم بالای فروچاله است مورد بررسی و بازدید میدانی و پیمایش قرار گرفت و موقعیت دقیق جغرافیایی و مشخصات تعداد ۵۱ فروچاله برداشت شد و پس از محاسبه مساحت دهانه فروچاله ها نسبت به مساحت منطقه پیمایش شده مشخص گردید که در مجموع ۲۵ درصد از منطقه پیمایش شده را فروچاله در بر گرفته است. در جدول (۱) مشخصات این فروچاله ها درج شده است. همچنین در بازدید میدانی دیگری که در این محدوده مطالعاتی انجام شد، زیروحظهای با مساحت ۲,۶ هکتار، شیب متوسط ۲۸ درصد و طول حوضه ۲۳۰,۱۷ متر به منظور برداشت نمونه رواناب سطحی حین بارش انتخاب شد که تعدادی از فروچاله هایی که قبلاً برداشت شده را نیز دربرگرفته است. نمونه های رواناب سطحی برداشت شده در تاریخ ۱۳۸۹/۹/۲۵، از اولین لحظه ایجاد رواناب که ۳ ساعت و ۲۷ دقیقه پس از شروع بارش آغاز شده است را شامل می شود و سپس ساعت ۵:۴۵، ۵:۰۰، ۸:۱۰ و ۹:۲۰ پس از شروع بارش، مجدداً نمونه های دیگری از رواناب سطحی برداشت شد تا به این وسیله، تغییرات یون های محلول در رواناب در این بازه زمانی و مکانی مورد پایش قرار گیرد. همچنین در این ارتباط به منظور برآورد بارش متوسط بلند مدت منطقه از داده های بارش ۲۰ ساله ایستگاه های هواشناسی محدوده مطالعه، داده های بارش روزانه ایستگاه هواشناسی مارون که در مجاورت منطقه مطالعه قرار دارد، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ۱/۱۰۰۰۰۰ شیت بهبهان، توپوگرافی DEM ۱,۵۰۰۰۰ دمتر محدوده مطالعه که از باند C تصویر رادار سنجنده ستیبل ۲ تهیه شد، به عنوان داده های پژوهش استفاده شده اند. به منظور تجزیه و تحلیل داده ها و تهیه نقشه های مورد نیاز از نرم افزار Excel و ARC MAP و Surfer استفاده شده است.

تجزیه و تحلیل داده ها

مشخصات فروچاله های منطقه مطالعه

طی اولین بازدید میدانی انجام شده مشخصات ۵۱ فروچاله برداشت شد که مشخصات ظاهری این فروچاله ها در جدول (۱) درج شده است.

جدول (۱)- مشخصات فیزیکی و ظاهری فروچاله های دشت مارون

ردیف	طول	عرض	ارتفاع (m)	قطر بزرگ (m)	قطر کوچک (m)	شیب دهانه (درجه)	عمق (m)	حجم (m ³)
۱	۴۴۱۵۷۸	۳۴۰۹۵۵۵	۸۱۹	۵۰	۱۵	۷۰	۶	۱۶۸۷,۵
۲	۴۴۱۵۷۲	۳۴۰۹۵۷۱	۸۱۳	۴۰	۱۲	۱۵	۷	۱۲۶۰
۳	۴۴۱۵۷۵	۳۴۰۹۵۸۱	۸۱۷	۵	۵	۱۲۰	۳	۱۹,۵

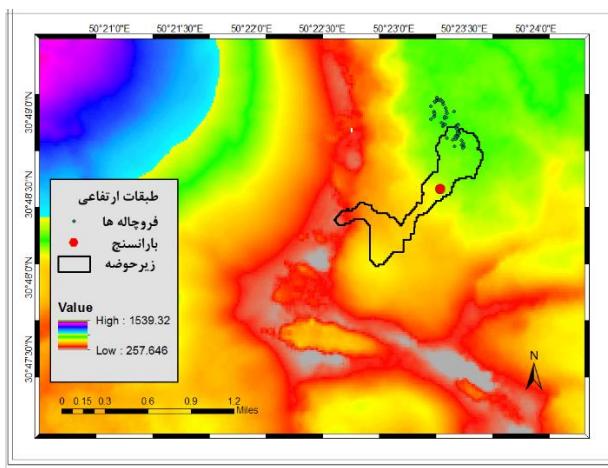


۱۹,۵	۱,۵	۷-	۵	۵	۸۱۷	۳۴۰۹۵۸۷	۴۴۱۵۷۱	۴
۵۰۶,۳	۶	۷-	۹	۲۵	۸۱۹	۳۴۰۹۵۹۱	۴۴۱۵۷۲	۵
۳۳,۷۵	۳	۷-	۳	۱۰	۸۱۴	۳۴۰۹۵۹۱	۴۴۱۵۶۶	۶
۱۵۶۳	۷	۹-	۳۰	۳۰	۸۱۴	۳۴۰۹۶۱۰	۴۴۱۵۵۲	۷
۸۸۱,۷	۶	۹-	۱۵	۱۵	۸۱۲	۳۴۰۹۶۰۱	۴۴۱۵۲۶	۸
۸۸۱,۷	۵	۱۰۰	۱۵	۱۵	۸۰۷	۳۴۰۹۶۰۵	۴۴۱۵۰۹	۹
۸۸۱,۷	۶	۱۰۰	۱۵	۱۵	۸۱۴	۳۴۰۹۶۲۵	۴۴۱۵۱۱	۱۰
۱۰۵	۴	۱۰۰	۱۰	۱۰	۸۱۶	۳۴۰۹۶۳۱	۴۴۱۵۰۹	۱۱
۵۶	۲	۵-	۱,۵	۵	۸۱۵	۳۴۰۹۶۳۸	۴۴۱۵۰۷	۱۲
۴۲۰	۴	۱۰۰	۲۰	۲۰	۸۱۱	۳۴۰۹۵۹۹	۴۴۱۴۹۲	۱۳
۶,۳	۱,۵	۹-	۴	۴	۸۰۷	۳۴۰۹۵۸۶	۴۴۱۴۸۴	۱۴
۳۰	۴	۹-	۲,۵	۸	۸۰۷	۳۴۰۹۵۸۸	۴۴۱۴۸۰	۱۵
۲۵۲۰	۶	۷-	۴۰	۴۰	۸۱۱	۳۴۰۹۴۷۶	۴۴۱۴۷۲	۱۶
۱۶۸۶,۵	۶	۷-	۱۵	۵۰	۸۱۳	۳۴۰۹۴۵۸	۴۴۱۴۸۰	۱۷
۱۷۷,۲	۳	۶-	۱۵	۱۵	۸۱۵	۳۴۰۹۴۳۳	۴۴۱۴۷۸	۱۸
۸۸,۷	۲	۵-	۱۳	۱۳	۸۱۰	۳۴۰۹۴۲۱	۴۴۱۴۷۲	۱۹
۱۲۱۵	۶	۱۲۰	۱۲	۴۵	۸۲۶	۳۴۰۹۵۱۴	۴۴۱۶۰۶	۲۰
۴۰۵	۴	۹-	۹	۳۰	۸۱۶	۳۴۰۹۴۷۷	۴۴۱۶۰۶	۲۱
۳۸,۶	۳	۶-	۷	۷	۸۱۴	۳۴۰۹۴۸۴	۴۴۱۶۱۴	۲۲
۳۳۷,۵	۳	۶-	۱۰	۳۰	۸۱۹	۳۴۰۹۴۵۶	۴۴۱۶۲۱	۲۳
۶۷,۵	۵	۱۰۰	۶	۲۰	۸۲۳	۳۴۰۹۴۷۶	۴۴۱۶۰۷	۲۴
۱۰۵۰	۷	۱۵۰	۱۰	۴۰	۸۲۴	۳۴۰۹۳۳۳	۴۴۱۶۷۴۴	۲۵
۷۸,۸	۳	۱۰۰	۱۰	۱۰	۸۲۶	۳۴۰۹۳۲۵	۴۴۱۷۴۵	۲۶
۱۷۷,۵	۴	۱۰۰	۱۳	۱۳	۸۲۶	۳۴۰۹۳۱۱	۴۴۱۷۲۲	۲۷
۹-	۴	۸-	۴	۱۵	۸۲۵	۳۴۰۹۳۰۶	۴۴۱۷۲۹	۲۸
۲۸,۴	۳	۱۰۰	۶	۶	۸۲۴	۳۴۰۹۲۹۳	۴۴۱۷۲۳	۲۹
۲۹۵,۳	۵	۱۰۰	۱۵	۱۵	۸۲۳	۳۴۰۹۲۷۸	۴۴۱۷۳۲	۳۰
۱۰۵	۴	۸-	۱۰	۱۰	۸۲۶	۳۴۰۹۲۸۲	۴۴۱۷۱۵	۳۱
۶,۳	۶	۹-	۶	۶	۸۲۰	۳۴۰۹۲۴۵	۴۴۱۷۳۶	۳۲
۴۷	۳	۸-	۳,۵	۱۲	۸۲۱	۳۴۰۹۲۳۹	۴۴۱۷۵۶	۳۳
۱۰۸	۶	۸-	۴	۱۲	۸۲۲	۳۴۰۹۲۳۱	۴۴۱۷۵۷	۳۴
۱۵۷,۵	۶	۸-	۱۰	۱۰	۸۲۰	۳۴۰۹۲۲۳	۴۴۱۷۴۷	۳۵
۱۸,۹	۲	۸-	۶	۶	۸۲۱	۳۴۰۹۲۰۶	۴۴۱۷۳۷	۳۶
۱۱۳,۳	۳	۶-	۱۲	۱۲	۸۲۳	۳۴۰۹۲۰۹	۷۷۱۷۱۶	۳۷
۴۱۳,۴	۷	۱۰۰	۱۵	۱۵	۸۲۳	۳۴۰۹۱۹۱	۴۴۱۷۲۲	۳۸
۷۵,۸	۳	۶-	۱۰	۱۰	۸۲۲	۳۴۰۹۱۸۴	۴۴۱۷۱۲	۳۹
۳۱۵	۶	۱۰۰	۷	۲۰	۸۲۳	۳۴۰۹۱۶۴	۴۴۱۷۱۷	۴۰
۲۶۹	۴	۱۰۰	۸	۸	۸۲۳	۳۴۰۹۱۶۴	۴۴۱۷۱۷	۴۱
۵-	۳	۷-	۸	۸	۷۲۶	۳۴۰۹۰۹۲	۴۴۱۸۰۴	۴۲
۱۹	۲	۸-	۶	۶	۸۲۴	۳۴۰۹۰۸۲	۴۴۱۸۰۰	۴۳
۱۰۵	۴	۷-	۱	۱۰	۸۲۴	۳۴۰۹۰۸۰	۴۴۱۸۱۲	۴۴
۲۹۵	۵	۷-	۱۵	۱۵	۸۲۱	۳۴۰۹۰۶۹	۴۴۱۸۰۰	۴۵
۳۷,۸	۱	۴-	۶	۶	۸۲۹	۳۴۰۹۱۵۷	۴۴۱۶۸۲	۴۶
۱۵۱	۴	۱۰۰	۱۲	۱۲	۷۱۴	۳۴۰۹۳۱۲	۴۴۱۵۷۲	۴۷
۱۰۵	۴	۸-	۱۰	۱۰	۸۱۴	۳۴۰۹۳۲۰	۴۴۱۵۷۹	۴۸

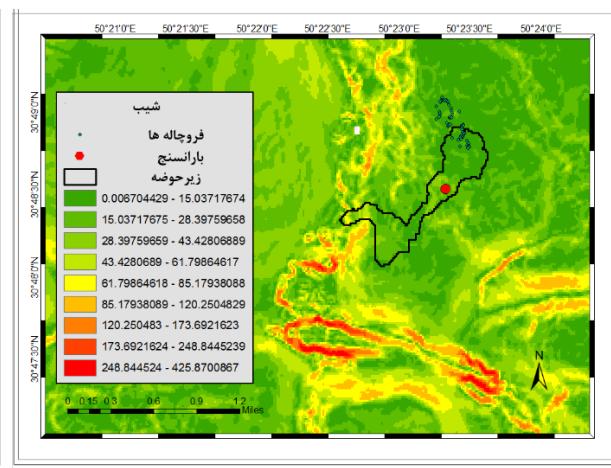
۳۷,۵	۱	۷۰	۶	۶	۸۲۵	۳۴۰۹۳۲۹	۴۴۱۵۸۷	۴۹
۱۷۷	۳	۸۰	۱۵	۱۵	۸۲۱	۳۴۰۹۳۳۵	۴۴۵۹۶	۵۰
۳۳,۶	۲	۸۰	۸	۸	۸۲۱	۳۴۰۹۳۳۵	۴۴۱۵۸۷	۵۱
۳۷۶,۴	۱۴.	%۸۲	۱۰,۵	۱۶,۱	-	-	-	میانگین

طبق اظهارات کوپر و گوتیرز (۲۰۱۳) سه دسته کارست گچی شکل می‌گیرند که این دسته بندی بر اساس حضور و موقعیتشان نسبت به سایر لایه‌ها است. این سه دسته شامل Bare karst و Covered karst و Interstratal karst هستند که البته با توجه به شرایط لایه‌های گچی در این دست این پدیده‌های کارستی در دسته کارست برهنه تقسیم بندی می‌شوند چراکه لایه‌های گچی در سطح قرار دارند.

شکل‌های (۳) و (۲) موقعیت زیر حوضه و فروچاله‌های برداشت شده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. شکل (۳) نقشه وضعیت ارتفاعی این منطقه است و شکل (۲) آن وضعیت شیب را نشان می‌دهد. طبق نقشه شیب این زیر حوضه در محدوده‌ای با شیب نسبتاً ملایم قرار دارد.

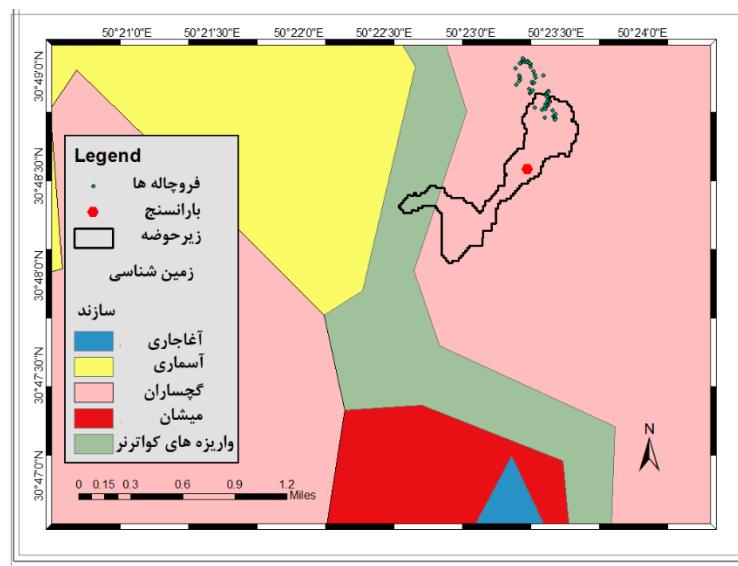


شکل ۳ - نقشه طبقات ارتفاعی



شکل ۲ - نقشه شیب

شکل (۴) نقشه زمین شناسی محدوده مطالعاتی است که وجود زیر حوضه و فروچاله‌ها را ببروی سازند گچساران تایید می‌کند. بخش انتهایی زیر حوضه را نهشته‌های آبرفتی پوشانده است.



شکل ۴ - نقشه زمین شناسی

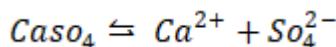
هیدروشیمی رواناب

جهت تعیین نرخ رشد فروچاله ها لازم است تعییرات EC و TDS روanab طی بارشی مناسب مورد پایش قرار گیرد لذا در بازدید میدانی دیگری که در این ناحیه با توجه به پیش بینی های بارش انجام شد، پیش از آغاز بارش، باران سنجی سیار در محلی مناسب از زیر حوضه مستقر گردید و با مشاهده اولین روanab میزان بارش ۱۰ میلیمتر اندازه گیری شد که این رقم در واقع آستانه تولید روanab و مبنای انجام این مطالعه در نظر گرفته شد. مقدار بارش در این بازه زمانی ۱۱ میلیمتر است که میزان آن به وسیله باران سنجی که در موقعیت مکانی مناسب از زیرحوضه قرار گرفته بود برداشت شد. نمونه آب بارش توسط باران سنج و نمونه روanab سطحی به صورت مدام در فواصل زمانی متعدد در طول مدت تقریباً ۹ ساعت برداشت شد. مقدار EC نمونه های آب باران و همچنین نمونه های روanab به کمک یک دستگاه سیار هدایت سنج اندازه گیری شد تا بعنوان معرفی از میزان املاح موجود در نمونه های آب مورد استفاده قرار گیرد. نمونه های باران و روanابهای برداشت شده جهت اندازه گیری TDS و EC روanab به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج آنالیز های آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ - نتایج حاصل از آنالیز نمونه ها

ROW	Title of experiment	Method code	Result based on row number							
			۱ after .27r hours	۲ after 5.19 hours	۳ after 5.45 hours	۴ after 8.10 hours	۵ after 8.47 hours	۶ after 9 hours	۷ after 9.20 hours	۸ 0
۱	TDS (mg/l)	ICL/FQ/A/034	865	1900	1635	610	965	1150	1150	113.3
۲	Total Hardness (mg/l) Caco ₃	ICL/FQ/A/027	640	1350	1260	615	960	1200	1047	80
۳	Ec (μs) lab	ICL/FQ/A/037	1114	1740	1656	1037	1514	1880	1663	19.3
۴	Ec 2 (μs) field	-	1024	1933	1764	1079	1417	1698	1542	23.7

بر اساس آنچه در بازدید میدانی مشاهده شد، وجود لایه گچ (انیدریت) تقریباً خالص بوده که در واقع تجمعی از یک کانی واحد هستند، بنابراین تفاوت کمی بین اتحلال یک کانی و یا سنگ مربوط به آنها وجود دارد. روند اتحلال انیدریت به این ترتیب است:



جهت بررسی و تخمین نرخ رشد فروچاله‌ها، از نمونه شماره ۷ استفاده شده است، چرا که در نمونه‌های اولیه میزان یون‌هایی که به واسطه باد و عوامل محیطی و همچنین با خاصیت مویینگی بر روی سطح زمین موجود هستند، در آب حل شده بنابراین میزان یون‌های موجود در نمونه‌ها غیر واقعی و غیر قابل استناد است، سپس این میزان کاهش یافته و فرایند انحلال به یک ثبات نسبی می‌رسد و مقدار یون‌های موجود در نمونه رواناب واقعی و قابل استناد است که در این پژوهش مناسب ترین نمونه، نمونه رواناب شماره ۷ تشخیص داده شد. بعارت دیگر، نمونه ۷ بعنوان متوسط املاح خروجی از روانابهای منطقه در نظر گرفته می‌شود.

تخمین خروجی رواناب سالانه زیر حوضه مورد مطالعه

در مطالعه میدانی که رحیم بیگی (۱۳۹۸) در برآورد میزان رسوب حوزه ارغوان ایلام انجام داده است پس از برداشت‌های متعدد میدانی، مقدار آستانه تشکیل رواناب در این حوزه که بخشی از آن را سازند گچساران با شبیب متوسط ۲۵ درصد و پوشش گیاهی انبوه تشکیل داده، ۲۵ میلیمتر تعیین کرده است و اینگونه عنوان می‌کند که بارش کمتر از این میزان، رواناب تشکیل نمی‌دهد. این میزان آستانه رواناب که در این مطالعه به دست آمده است برای حوضه‌ای به دست آمده که علاوه بر سازند گچساران سازند آسماری را هم در بر دارد و میزان سنگلاخی و نفوذپذیری این سازند تاثیر بسیار زیادی بر روی آستانه رواناب داشته است. در این مطالعه و در دشت مارون، زیرحوضه‌ای که مورد بررسی قرار گرفته دارای شبیب متوسط ۲۸ درصد و پوشش گیاهی بسیار خوب است، اما تمام این زیرحوضه را سازند گچساران پوشانده و بر اساس برداشت میدانی که نگارندگان در جهت انجام این مطالعه داشتند میزان آستانه رواناب ۱۰ میلیمتر اندازه گیری شد. عبدالخانی نژاد و همکاران (۱۳۹۶:۱۱) سازند متشکل از لایه‌های مارن و لایه‌های بدون درز و شکاف گچی را جزو سازندهای با نفوذ کم با میزان 10^{-6} - 10^{-5} (Cm/Sec) دسته بندی کرده اند، بنابراین لایه‌های گچی و مارنی دارای حداقل نفوذپذیری را فرمودند. جهت تعیین میزان حجم گچی که به واسطه رواناب از این حوضه خارج می‌شود در ابتدا لازم است وضعیت رواناب حاصل از بارشی که بطور سالانه از این زیر حوضه تخلیه می‌شود مشخص شود به این منظور، با استفاده از آمار بارش ۲۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی پوشش دهنده این منطقه جدول (۳)، رابطه بارش و ارتفاع (شکل ۵) با ضریب همبستگی ۰.۷۷، تهیه شد و بر اساس رابطه (۱) نقشه هم بارش دشت مارون در محیط نرم افزار ARC MAP تهیه شد. شکل (۶)

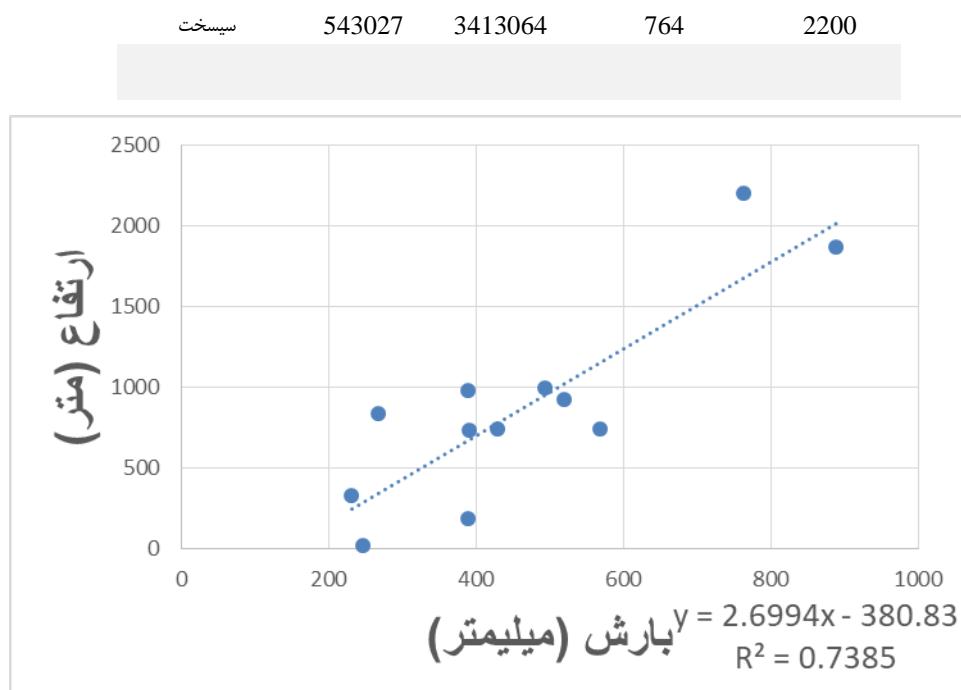
(رابطه ۱)

$$y = 0.2829x + 213.72$$

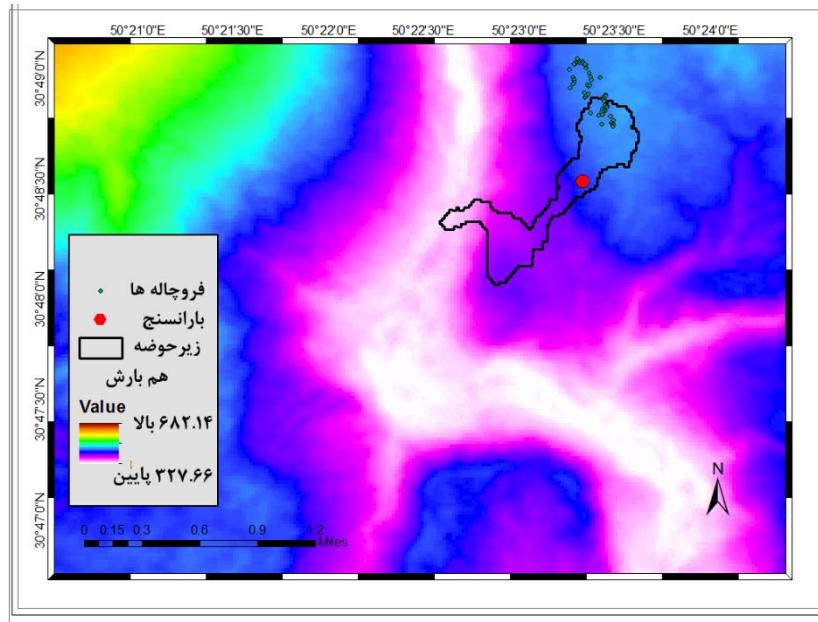
$$R^2 = 0.772$$

جدول ۳ - مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی

ایستگاه	x	y	بارش (میلیمتر)	ارتفاع (متر)
سوق	447411	3413107	390	977
دهدشت	456943	3405676	494	990
بهبهان	426491	3383676	231	325
چرام	474471	3400079	430	734
ایذه	959262	3530377	268	835
باغ ملک	1344990	3521277	520	917
گچساران	479176	3357589	392	726
اهواز	791752	3472456	248	12
یاسوج	555891	3390959	889	1870
قلعه ریسی	445446	3339236	569	741
رامهرمز	366785	3465543	390	179



شکل ۵ - همیستگی بین ارتفاع و بارش



شکل ۶ - نقشه هم بارش

همچنین برای محاسبه متوسط بارش بلند مدت سالانه منطقه مورد مطالعه، از رابطه (۱) و متوسط ارتفاع منطقه (۸۹۸ متر) استفاده شد که میانگین بارش سالانه دشت مارون ۴۶۷ میلیمتر بدست آمده است.

به منظور برآورد میزان رواناب سالانه حوزه، با بررسی آمار بارش روزانه دوره ۲۰ ساله، از سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۳۹۶ که در دسترس است با توجه به متوسط بارش سالانه حوضه مورد مطالعه (۴۶۷ میلیمتر) که با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده است، مناسب ترین آمار

جهت برآورد رواناب سالانه حوضه، داده‌های سال آبی ۱۳۹۰ – ۱۳۹۱ با جمع بارش سالانه ۴۸۶ میلیمتر است که این رقم به متوسط بارش سالانه حوضه نزدیک است. میزان بارش روزانه دشت مارون در این سال، به تفکیک طبق جدول زیر است.

جدول (۴) – بارش‌های روزانه اتفاق افتاده در سال آبی ۱۳۹۰ – ۱۳۹۱

	بارش mm							ماه
	۲۳	۱۸	۷	۹	۸	۱		آبان
					۱۱	۲۱		آذر
		۳	۸	۲۰	۷	۸/۵		دی
۱	۹	۵	۶	۲۶	۳۵	۵		بهمن
					۳۲	۳۶		اسفند
		۱۱	۰.۵	۳۹	۶	۱۳		فروردین

با استناد به داده‌های بارش روزانه سال ۱۳۹۰ – ۱۳۹۱ مجموع بارش بیش از ۱۰ میلیمتر که می‌تواند ایجاد کننده رواناب سطحی در زیر حوضه مطالعاتی باشد، ۲۵۸ میلیمتر است.

روشی که در این پژوهش جهت برآورد رواناب سالانه حوضه‌های آبخیز کوچک مورد استفاده قرار گرفته، توسط انجمن تحقیقات کشاورزی هند (علیجانی: ۱۳۹۰: ۵۴۷) ارائه شده است:

رابطه 2

$$Q = \frac{1.511 P^{1.44}}{T^{1.35} A^{0.063}}$$

در این رابطه R میزان رواناب سالانه به سانتی متر، P بارندگی سالانه به سانتی متر، T دمای متوسط حوضه به سانتی گراد و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است.

حداکثر دمای سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰ این زیرحوضه ۳۷ درجه سانتیگراد و حداقل آن ۲۱ درجه سانتیگراد و مساحت آن نیز ۶۰ کیلومتر مربع است و میزان بارش بالای ۱۰ میلی متر نیز ۲۸۵ میلیمتر برداشت شده است. طبق محاسبات انجام شده به وسیله رابطه بالا، $Q = 2.1$ سانتی متر بوده که بر اساس میزان مساحت زیر حوضه مقدار رواناب سالانه آن ۱۳۰۲۰ متر مکعب در سال محاسبه شده است که این رقم مبنای محاسبات بعدی جهت تخمین میزان اتحلال سالانه گج خواهد بود. پس از تخمین میزان رواناب، لازم است میانگین حجم فروچاله‌های برداشت شده نیز محاسبه شود. به این منظور از جدول (۱) و مشخصات برداشت شده در بازدیدهای میدانی استفاده شده است. برای تعیین حجم فروچاله‌ها، از رابطه (۳) جهت تعیین حجم فروچاله‌های کشیده استفاده شده است. پارامترهای مورد نیاز این رابطه، a متوسط پارامترهای قطر بزرگ، b متوسط قطر کوچک و c متوسط عمق است.

رابطه (3)

$$\frac{4}{3}abc$$

$$\frac{2}{}$$

همچنین برای محاسبه فروچاله‌های با دهانه دایره‌ای شکل با توجه فرم مخروطی شکل فروچاله‌ها از رابطه زیر استفاده شد.

رابطه (4)



$$\frac{1}{3} \pi r^2 h$$

عمق فروچاله = h

شعاع فروچاله = r

طبق محاسبات انجام شده، متوسط حجم فروچاله های برداشت شده ۳۷۶,۴ متر مکعب است که می توان گفت همراهی سیستم هیدرولیک و سیستم ژئومورفیک توانسته باعث انحلال ۳۷۶,۴ متر مکعب گج شود.

بحث و بررسی

فروچاله های دشت مارون

در این منطقه مطالعاتی دو فرم کلی فروچاله هایی با دهانه کشیده و فرجاله هایی با دهانه دایره ای شکل جلب نظر کرد. دلیل تنوع فرم فروچاله ها در دشت مارون تقاضت در مکانیزم شکل گیری آنها است، وجود لایه های گچ در مسیر آبراهه ها باعث ایجاد و شکل گیری فروچاله های کشیده و بیضی شکل در بخش های دامنه ای سازند گچساران گشته اما در سایر نقاط از لایه های سطبر گچی که دارای شبیه ملايم و وجود نقاط ضعفی همچون درز و شکاف بوده فروچاله هایی با دهانه گرد، و عمدتاً قیفی شکل ایجاد گردیده است. اشکال زیر (شکل های 7,8,9,10) نشان دهنده فرم کلی تعدادی از فروچاله های منطقه است که توسط نگارندگان مورد بازدید قرار گرفته است.

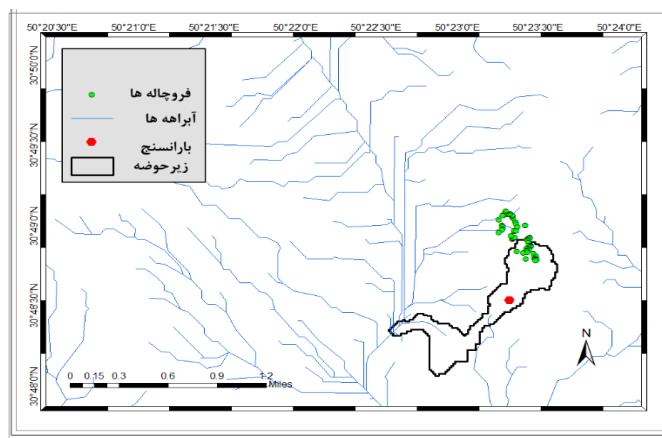


اشکال (۷ و ۸) - نمونه ای از فروچاله های کشیده (اولاً) و بیضی شکل در مسیر آبراهه



اشکال (۱۰.۹) - نمونه‌ای از فروچاله‌های گرد و مخروطی شکل خارج از مسیر آبراهه

عمده فروچاله‌های کشیده دارای چندین پونور بوده و در واقع پدیده‌ای به نام اوala شکل داده اند و البته وجود پونورهای متعدد در فروچاله‌های دایره‌ای شکل نیز دیده شد اما تعداد آن محدود است. در مواردی تعداد ۱۰ پونور در یک اووالی کشیده دیده شد. نقشه هم پوشانی پراکندگی فروچاله‌ها و لایه آبراهه‌های منطقه نشان دهنده میزان وابستگی فروچاله‌ها به خطوط آبراهه است به این معنی که مکانیسم شکل گیری فروچاله‌های موجود بر روی خطوط آبراهه با سایر فروچاله‌ها متفاوت بوده و شکل گیری آنها وابسته به خطوط آبراهه است بنابراین بر اساس این نقشه و موقعیت فروچاله‌ها می‌توان فرم فروچاله‌ها را تشخیص داد. (شکل ۱۱)



شکل ۱۱ - نقشه آبراهه

در رابطه با روند شکل گیری فروچاله‌ها باید گفت که به نظر می‌رسد فروچاله‌هایی که در مسیر آبراهه قرار دارند علاوه بر اینکه فرم کشیده دارند و قطر بزرگ آنها در مسیر جريان قرار دارد روند شکل گیری آنها از پایین دست به سمت بالا دست بوده به اين شکل که از انتهایی ترین مكان ممکن شکل گیری فروچاله آغاز می‌شود و اين روند به سمت بالا ادامه پیدا می‌کند. وجود پونورهای متعدد در اين فروچاله‌ها سبب ايجاد يك ارتباط زير سطحي به صورت توپول شده است. اما در مورد روند شکل گيری فروچاله‌های دارای دهانه دایره‌ای که خارج از حریم آبراهه‌ها ايجاد شده اند نیز باید گفت که اين روند از بالا به پایین و به صورت عمودی و در محل نقطه ضعف لایه‌های گچی همچون شکاف و درزها بوده، اين فروچاله‌ها نیز می‌توانند به صورت زير سطحي با سایر فروچاله‌ها مرتبط باشند. پس از ورود جريان آب از طریق درزها و شکاف‌ها به داخل لایه‌های گچی و انحلال آنها که سبب شکل گیری فروچاله‌ها می‌شود این



جريان های آبی همچنان ادامه خواهد داشت و این جريان آب نیازمند خروجی هایی است که اين مسیر در درزهای بین لایه ای و یا شکاف های زیر سطحی ادامه خواهد داشت و به این ترتیب فروچاله ها از طریق این تونل ها به یکدیگر متصل شده و پس از جمع آوری رواناب های سطحی از طریق غارهای کوچک محلی این جريان های تجمعی شده مجدداً به سطح زمین راه می یابند. شکل ۷ بطور شماتیک مکانیسم تشکیل فروچاله های منطقه را به نمایش می گذارد.



شکل ۱۲ - تصویری شماتیک از فروچاله های دشت مارون (منبع: نگارندگان)

این کانال های زیر سطحی در صورتی که گسترش قابل توجهی داشته باشند می توانند در مسیر خود زمینه ساز ایجاد فروچاله هایی از نوع ریزشی نیز شوند که می تواند به گسترش فروچاله ها کمک کند. شکل (12) فروچاله هایی را نشان می دهد که به دلیل وجود غار در لایه های گچ زیر سطحی ایجاد شده اند. این فروچاله های ریزشی در بستر لایه های سطحی رس و گلسنگ و یا ماسه ایجاد شده است که عامل اصلی شکل گیری آنها انحلال گچ زیر سطحی و گسترش غار بوده که باعث ایجاد ضعف و عدم تحمل وزن و فشار لایه های بالایی شده و نهایتاً باعث ایجاد فروچاله شده است. از سایر ویژگی مورفولوژیکی فروچاله های کشیده این ناحیه مطالعاتی این است که نسبت قطر کوچک به قطر بزرگ آنها ۱ به ۳ است که می توان گفت این نسبت تابع ستبری لایه های گچی بوده و اگر این میزان ستبری تعییر کند به تبع آن نسبت قطرها نیز تعییر خواهد کرد. همچنین فروچاله هایی در این محدوده مطالعاتی دیده شده که دارای دهانه ای دایره ای و فرم کلی قیفی شکل بوده که طبق نظر فورد و ویلیامز مکانیزم شکل گیری فروچاله هایی که دارای شیب بالایی در دیواره و مساحت کمتری در دهانه هستند می توانند فروچاله هایی از نوع ریزشی باشند (فورد و ویلیامز، ۲۰۱۳) بنابراین می توان گفت که این فروچاله ها محصول هم زمانی فرایند انحلال و ریزش گچ های سست شده هستند. فروچاله های قیفی در مکانی شکل گرفته اند که دارای شیب ملایم توپوگرافی بوده و شیب رخمنون های گچی نیز در شکل گیری آنها بسیار موثر است چرا که شیب پایین و مسطح بودن لایه های گچی می تواند سبب تجمع نهشته های مارنی بر روی گچ ها شده و لایه های گچی ایزوله گردد و نرخ شکل گیری فروچاله ها به حداقل برسد. اما آنچه در این پژوهش بسیار با اهمیت است این مساله است که علاوه بر شیب ملایم لایه ها و شیب ملایم توپوگرافی، خصامت زیاد لایه گچی و خلوص گچ و به دنبال آن جريان های سطحی توانسته اند زمینه ساز اصلی و محوری شکل گیری فروچاله هایی به این بعد و در این اقلیم خاص باشند. چرا که اگر در این مکان لایه های گچی دارای خصامت کمتر و خلوص کمتری بودند این میزان بارش سالانه و یا حتی بیشتر قطعاً نمی توانست زمینه ساز شکل گیری فروچاله هایی با این بعد شود.

محاسبه روند رشد فروچاله ها

در راستای تخمین حجم خروجی انیدریت (CaSO_4) با وزن مخصوص ۲,۹، از داده های حاصل از آنالیز نمونه ۷ استفاده شده است که ۹ ساعت پس از شروع بارش از خروجی زیر حوضه برداشت شد و طبق داده های آزمایشگاهی میزان Ec آن ۱۵۴۲ محاسبه شده است. همچنین بر اساس داده های آزمایشگاهی، میزان TDS آن ۱۱۵۰ میلی گرم بر لیتر است. این به آن معنی است که میزان املاح شسته



شده در این بازه زمانی و مکانی تقریباً معادل ۱,۲ کیلوگرم در هر متر مکعب رواناب است که از حوضه خارج شده است. طبق روش انجمان تحقیقات کشاورزی هند سالانه ۱۳۰۲۰ متر مکعب آب از این زیرحوضه خارج می‌شود، بنابراین می‌توان گفت میزان املاحتی که از این زیرحوضه خارج می‌شود ۱۵,۶ تن در سال است. ایندیریت دارای وزن مخصوص ۲,۹ است. بنابراین طبق رابطه (۵) میزان حجمی که از این زیرحوضه به صورت سالانه کاسته می‌شود ۵,۴ متر مکعب است.

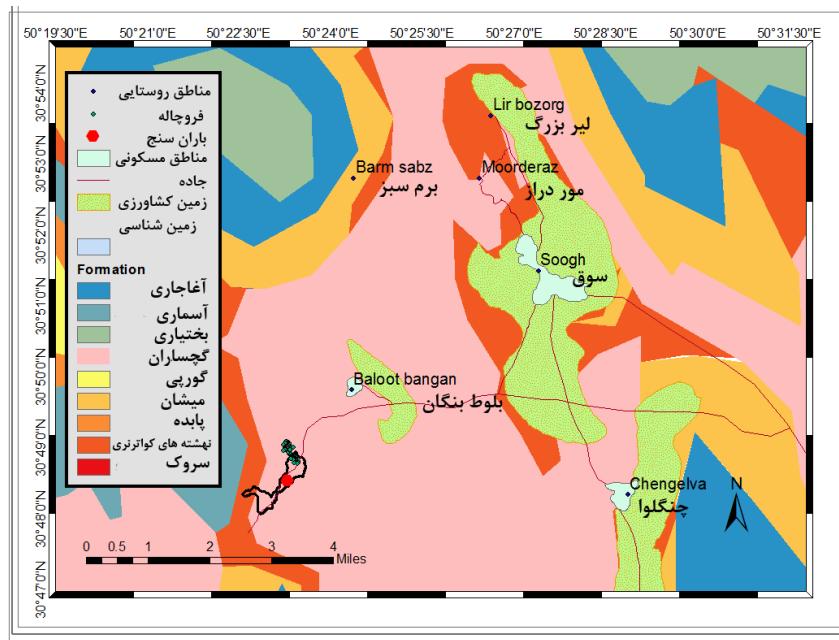
(5) رابطه

$$\rho = \frac{m}{v}$$

همانطور که گفته شد میانگین حجم فروچاله‌های دشت مارون ۳۷۶,۴ متر مکعب است، بنابراین در این اقلیم، هر فروچاله ۶۹ سال زمان نیاز داشته تا به این اندازه برسد که این میزان انحلال می‌تواند بسیار مخاطره آمیز باشد. قرارگیری مناطق مسکونی، جاده‌ها و از آن مهمتر زمین‌های کشاورزی وسیع که خود به سبب آبیاری‌های مداوم عاملی تسربیع کننده در جهت ایجاد فروچاله‌ها محسوب می‌شوند به میزان اهمیت مطالعه این منطقه می‌افزاید. همچنین، با استفاده از مساحت پیمایش شده و حجمی از فروچاله‌ها که در این منطقه پدید آمده‌اند می‌توان میزان انحلال گج سطحی که در تماس با رواناب است در هر صد سال را ۲۳ سانتی متر در نظر گرفت.

مخاطرات حاصل از رشد فروچاله‌ها

همانطور که گفته شد جهت انجام این پژوهش در ابتدا مساحتی بالغ بر ۱۶۰۰۰۰ متر مربع از سازند گچساران واقع در دشت مارون مورد بررسی و بازدید قرار گرفت و موقعیت دقیق جغرافیایی و مشخصات تعداد ۵۱ فروچاله برداشت شد و مساحت دهانه کل فروچاله‌ها معادل ۴۰۱۶۶ متر مربع محاسبه شد، که این نتیجه حاصل شده نشان می‌دهد که درمجموع ۲۵ درصد از منطقه پیمایش شده را فروچاله‌ای دربرگرفته است که سطحی بوده و قابل مشاهده است. همچنین باید به این نکته نیز توجه کرد که انحلال در سازند گچساران، تنها فرایند فرسایشی نیست که روی می‌دهد علاوه بر انحلال گج، مارن‌های این سازند هم به واسطه بارش، توسط رواناب‌های سطحی مورد فرسایش قرار می‌گیرند و به صورت بار معلق از حوضه خارج می‌شوند که این میزان بار معلق خود تسربیع کننده تشکیل فروچاله‌هاست، بنابراین می‌توان گفت که این مدت زمانی که در این مطالعه تخمین زده شد می‌تواند کوتاه تر نیز باشد چراکه تاثیر عامل تسربیع کننده بار معلق در آن محاسبه نشده است، که محاسبه این بار معلق نیاز به بررسی و مطالعه دارد. هدایت رواناب به وسیله فروچاله به مناطق پایین دست، احتمالاً به همین میزان گسترش کارست زیرزمینی و تونل را نیز به دنبال دارد که قابل مشاهده و عینی نبوده و مشخص نیست که در بخش‌های زیر سطحی این منطقه چه میزان حفره و تونل تاکنون شکل گرفته اما انتظار می‌رود بر اساس نتایج به دست آمده این میزان کم نباشد. قرارگیری جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی و از آن مهمتر مناطق مسکونی بر روی این پهنه‌های گچی که حداقل ۲۵ درصد آن را فروچاله‌هایی در برگرفته که قابل مشاهده است و همچنین تونل‌هایی زیر سطحی که با این ترخ انحلال هر ساله در حال گسترش بوده و علاوه بر بارش‌های موثر به سبب وجود زمین‌های کشاورزی که نیاز به آبیاری مداوم دارد و میزان انحلال را تشدید می‌کند، می‌توانند زمینه ساز ریزش‌های سطحی و گسترش فروچاله‌ها شوند که در نهایت این مساله تهدید کننده امنیت جانی و مالی ساکنین این مناطق است. شکل (۱۳) موقعیت مناطق مسکونی، کشاورزی و جاده‌های این منطقه نسبت به سازند گچساران را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳ - موقعیت جغرافیایی راهها، مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی

در همین راستا Lura Sanna و همکاران (۲۰۱۵) جهت تخمین نرخ انحلال گچ در یکی از مهمترین غارهای گچی ۴ نقطه از تونل را با استفاده از داده‌های ۱۸ ساله مورد مطالعه قرار دادند که نتایج حاصل از این پژوهش ۰,۰۱۶ تا ۰,۰۲۸ میلیمتر در سال در نزدیکی ورودی اصلی غار، ۰,۰۲۲ میلیمتر در سال کف غار، ۰,۰۲۸ میلیمتر در سال در carbonate flowstone و در بخش بیرونی غار ۰,۱۷ میلیمتر در سال معادل ۱۷ سانتی متر در سال تخمین زده شده است. این در حالیست که عارفی و همکاران (۱۳۹۸) نرخ انحلال آهک را با استفاده از تکنیک‌های تجربی و آزمایشگاهی، ۰,۳۶۶ میلیمتر در هر هزار سال (با استفاده از فرمول کوربل) و ۰,۱۲۹ میلیمتر در هزار سال (با استفاده از روش سوئیتینگ) تخمین زده اند که در مقایسه با انحلال گچ، شکل گیری یک فروچاله آهکی بسیار کند و زمان بر است و تغییرات رخ داده در این سازند کریباته در مقایس عمر انسان نخواهد گنجید. بنابراین، بازه زمانی ۶۹ سال برای شکل گیری فروچاله با حجم ۳۷۶,۴ متر مکعب، به این معنی است که مدت زمانی که لازم است یک فروچاله به این گستردگی ایجاد شود معادل متوسط عمر یک انسان است و همین مساله می‌تواند این نرخ گسترش را مخاطره آمیز جلوه دهد.

نتیجه گیری

بر اساس مشاهدات میدانی و مطالعاتی که انجام شد، شکل عمومی فروچاله هایی که در مسیر آبراهه قرار دارند کشیده بوده و اغلب دارای چندین پونور هستند و فروچاله هایی که در مناطق کم شیب قرار دارند اغلب دارای دهانه دایره‌ای شکل و دیواره قیفی شکل و یا کاسه‌ای هستند. با در نظر گرفتن اینکه این فروچاله ها رواناب تجمعی شده را در درون فروچاله حفظ نمی کنند و این رواناب از طریق پونورها به بخش زیرسطحی هدایت شده و در نهایت از محیط خارج می شود، این نتیجه حاصل می شود که این فروچاله ها به واسطه یک مسیر زیر سطحی به یکدیگر مرتبط هستند و در نهایت به یک غار کوچک محلی منتهی می شوند که خروجی نهایی رواناب به حساب می آید. بنابراین می توان اینگونه نتیجه گیری کرد که با در نظر گرفتن تراکم ۲۵ درصدی فروچاله هایی که در سطح دیده می شود، به لحاظ زیرسطحی نیز این منطقه سست و دارای حفرات و غارهای زیادی می باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که عمر شکل گیری یک فروچاله با حجم ۳۷۶ متر مکعب ۶۹ سال است که کمتر از مینگین عمریک انسان محسوب میشود، لذا این نرخ بالای انحلال و وجود حفرات زیر زمینی که سست بودن لایه‌های گچی را به دنبال دارد، می تواند رسیک ریزش‌های ناگهانی بویژه در مناطق مسکونی و کشاورزی را به دنبال داشته باشد. حتما باید در نظر گرفت که این نرخ انحلال بالای گچ می تواند به وسیله آب حاصل

از کشاورزی و مناطق مسکونی نیز تسریع گردد. یکی از مسائلی که باید به آن توجه شود این است که بر خلاف فروچاله‌های آهکی که می‌توانند جریان رواناب را به آبخوان‌های کارستی هدایت کنند به دلیل انحلال پذیری بالای گچ، آب سریعاً اشبع شده و این انحلال عمدتاً به ناحیه دهانه فروچاله و حفره‌های زیرزمینی محدود شده و رواناب کمتر این فرصت را پیدا می‌کند که فروچاله را به صورت عمقی گسترش دهد، بنابراین در گذر زمان این لایه‌های سطحی گچ هستند که به مرور سست تر می‌شوند و بخش‌های عمیق تر آنچنان تغییری به دنبال نخواهند داشت. نتایج موجود در جدول (۱) که مشخصات فروچاله‌های برداشت شده در آن درج شده است دقیقاً تایید کننده همین مطلب یعنی تفاوت بسیار زیاد در ابعاد قطر و عمق فروچاله است. از دیگر دلایلی که امکان ایجاد آبخوان را محدود می‌کند سببی لایه‌های گچی است که عملاً این امکان را نخواهد داشت که به صورت عمقی گسترش یافته و آبخوان شکل بگیرد.

لازم به ذکر است که بر اساس این نتایج حاصل شده لازم است جهت بالا بردن ضریب امنیت و کاهش ریسک خطرات حاصل از انحلال گچ، این منطقه مورد پایش و مطالعه زیر سطحی قرار گرفته و میزان حفرات و تونل‌های زیر سطحی که تا کنون شکل گرفته مورد بررسی قرار گیرند و در نهایت برای کاهش خطرات حاصل از این نرخ انحلال تهمیداتی مانند پنهانه بندی خطر وقوع فروچاله اندیشه شود چرا که حفرات موجود در لایه‌های گچی با این نرخ بالای انحلال به راحتی می‌توانند گسترش یافته و شرایط ریزش‌های ناگهانی را مهیا کرده به گونه‌ای که کل دشت دچار ریزش گردد و صدمات جانی و خسارت‌های مالی را به دنبال داشته باشد.



منابع

- بهنیافر، ابوالفضل. قنبر زاده، هادی. ۱۳۹۴، ژئومورفولوژی کارست.
- رضایی عارفی، محسن، زنگنه اسدی، محمدعلی، بهنیافر، ابوالفضل، جوانبخت، محمد (۱۳۹۸). محاسبه میزان نرخ فرسایش کارستی با استفاده از تکنیک های تجربی و آزمایشگاهی در حوضه آبریز کلات در شمال شرق ایران، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۸ صص ۶۴-۷۹.
- زمانی، حمزه، حسن پور، جعفر، چشمی، اکبر، ۱۳۹۶، پهنه بندی پتانسیل وجود حفرات کارستی و کاربرد آن برای پیشینی خطر هجوم آب به داخل تونل ناشی از وجود این حفرات برای استان مازندران، چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق.
- سازمان زمین شناسی کشور، نقشه زمین شناسی مقیاس 1:100000.
- صفاری، امیر، قنواتی، عزت الله، علیجانی، فرشاد، محمدی، زکیه، (۱۳۹۵)، مروری بر خصوصیات لند弗رم های کارستی در لایه های گچی، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۴، بهار ۱۳۹۵.
- طاووسی، نگار، فرج نیا، اشکان، هوشیاری پور، فرهاد، (۱۳۹۷)، بررسی اثر سازند اتحالا پذیر گچساران بر میزان املاح محلول آب مخزن سد پارسیان، همایش بین المللی توسعه پایدار و عمران شهری، ۱۳۹۷، دوره ۸.
- عباس نژاد، احمد، (۱۳۸۹)، تعیین موقعیت احتمالی غارهای پنهان در دشت کرمان – باغین با استفاده از معیارهای هیدرولوژیکی، نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد چهارم، شماره ۱ بهار و تابستان ۱۳۸۹.
- عبدالعلیخانی نژاد، طلیعه، منوری، سید مسعود، سیاوشی، مرتضی، زارعی، سعید، (۱۳۹۴). بررسی تحلیل ارزشیابی لندفلی شهری با رویکرد زمین شناسی در سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست، سال نهم، شماره ۳۲.
- علایی طالقانی، محمود و زهرا رحیمزاده، ۱۳۸۹، بررسی تحول کارست در منطقه زاگرس، نخستین کنفرانس پژوهش های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.
- قبادی، محمدحسین و موسوی، سجاد الدین، (۱۳۸۶)، انحلال پذیری ژیپس و نقش آن در عملیات آب بندی سدها، سومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، تهران.
- محمدیان، محمد، لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد، قبادی، محمد حسین، ۱۳۹۴، انحلال پذیری سنگ های گچی (ژیپس) سازند گچساران و اثرات زیست محیطی آن در شرق خوزستان، فصلنامه علوم محیطی، دوره سیزدهم، شماره ۳.
- محمودی، امین، امام، سید محمد رضا (۱۳۹۷). مطالعه آزمایشگاهی و ارایه یک رابطه مقدماتی برای انحلال سنگ های ژیپس و آندریت، سومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، تهران، ۱ و ۲ آبان ۱۳۹۷.
- مقصودی، مهران، زمان زاده، سید محمد، یمانی، مجتبی، حاجی زاده، عبدالحسین، ۱۳۹۶، بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز مارون با استفاده از شاخص های ژئومورفیک، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۳.
- وزارت نیرو (تمام)، -فرهنگ چند زبانه واژه های کارست، سازمان تحقیقات منابع آب (۱۳۷۳).

- Cooper, A.H., Gutierrez, F., 2013, Dealing with gypsum karst problems: hazards, environmental issues, and planning, Treatise on Geomorphology, Academic Press, SanDiego, CA, vol. 6, pp. 451–462.
- Gutierrez- Elorza, M., Gutierrez- Santolalla, F., 1998, Geomorphology of the Tertiary gypsum formations in the Ebro Depression (Spain), Geoderma, Vol. 87, pp. 1–29.
- Gutierrez, F., 1996, Gypsum karstification induced subsidence: effects on alluvial systems and derived geohazards (Calatayud Graben, Iberian Range, Spain), Geomorphology, Vol. 16, pp. 277–293.
- Gutierrez, F., Calaforra, J.M., Cardona, F., Ortí, F., Duran, J.J., Garay, P., 2008a, Geological and environmental implications of evaporite karst in Spain, Environmental Geology, Vol. 53, pp. 951–965.

- Gutierrez, F., Cooper, A.H., Johnson, K.S., 2008b, Identification, prediction and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas, *Environmental Geology*, Vol.53, pp. 1007–1022.
- Gutierrez, F., Guerrero, J., Lucha, P., 2008c, A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain, *Environmental Geology*, Vol. 53, pp. 993–1006.
- Gutierrez, F., Galve, J.P., Guerrero, J., 2007, The origin, typology, spatial distribution, and detrimental effects of the sinkholes developed in the alluvial evaporite karst of the Ebro River valley downstream Zaragoza city (NE Spain), *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol.32, pp. 912–928.
- Gutierrez, F., Galve, J.P., Lucha, P., Bonachea, L., Jorda', L., Jorda', R., 2009, Investigation of a large collapse sinkhole affecting a multi-storey building by means of geophysics and the trenching technique (Zaragoza city, NE Spain), *Environmental Geology*, Vol.58, pp. 1107–1122.
- Gutierrez, F., Guerrero, J., Lucha, P., 2008c, A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain, *Environmental Geology*, Vol.53, pp. 993–1006.
- Gutierrez, F., Orti', F., Gutierrez-Elorza, M., Perez-Gonzalez, A., Benito, G., Gracia-Prieto, J., Duran, J.J., 2001, The stratigraphical record and activity of evaporate dissolution subsidence in Spain, *Carbonates and Evaporites*, Vol.16, No.1, pp. 46–70.
- Gutierrez, F., Cooper, A.H., 2013. Surface morphology of gypsum karst, *Treatise on Geomorphology*, Academic Press, San Diego, CA, Karst, Geomorphology, Vol. 6, pp. 425-437.
- Guo, Sh, Yan, CH, Yu, L, Liu, Y, Zhou, Y, Shi, X, 2020. Characteristics, Controlling Factors, and Formation of Shallow Buried Karst in Eastern China: A Case Study in the Wuxi Metro Areas, Jiangsu Province, *Environmental and Engineering Geoscience* (2020) 26 (2): 257–269.
- Haibat, A, Choi, J, 2019, Risk Prediction of Sinkhole Occurrence for Different Subsurface Soil Profiles due to Leakage from Underground Sewer and Water Pipelines, *Sustainability* 2020, 12, 310.
- Sanna L. Jo De, W. Calaforra, J. Foorti, P. 2015, Long-term erosion rate measurements in gypsum caves of Sorbas (SE Spain) by the Micro-Erosion Meter method, *Geomorphology*, [Volume 228](#), 1 January 2015, 213-225
- White, W. B., *Geomorphology and Hydrology of karst*, oxford university press. Quinlan, j, 1989. *Groundwater monitoring in karst terrains*, EPA. 600/ x.
- William, P. & Ford, D.- *Karst hydrogeology and geomorphology*, 2007, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 1-578.
- Klimchouk, Alexander, THE typology of Gypsum karst according to its geological and geomorphological evolution, 1996, *Int. J. Speleol.* 25 (3-4).
- Williams, P., 2004, Dolines. In: Gunn, J. (Ed.), *Encyclopedia of Caves and Karst Science*, Fitzroy Dearborn, New York, NY, pp. 304–310.
- White, W.B., 1988. *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. New York: Oxford university press.
- Chu, H., Xu, G., Yasufuku, N., Yu, Z., Liu, P., & Wang, J. (2017). Risk assessment of water inrush in karst tunnels based on two-class fuzzy comprehensive evaluation method. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(7), [179]. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2957-5>
- Cooper, H, Anthony, M. Saunders, Jonathan, (2002) Road and bridge construction across gypsum karst in England, *Engineering Geology* 65 (2002) 217–223.
- Cooper, H, Anthony, (2006), Gypsum dissolution geohazards at Ripon, North Yorkshire, UK, IAEG2006 Field Trip Guide Ripon.