

## ارزیابی رشد فروچاله های گچی و مخاطرات ناشی از آن (مطالعه موردی: دشت مارون)

مژگان انتظاری<sup>۱</sup>

حمیده غلام حیدری<sup>۲</sup>

حاجی کریمی<sup>۳</sup>

### چکیده

وجود سازندهایی که شامل لایه‌های گچی هستند زمینه ساز تشکیل اشکال کارستی گچی خواهند بود. میزان ستبری لایه‌های گچی و کیفیت این لایه ها در شکل گیری اینگونه اشکال تاثیرگذار 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، می تواند تاثیر بسیار مخربی بر جاده ها، 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 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 ۶,۲ هکتار از دشت مارون، نمونه آب باران و چندین نمونه از بخشهای مختلف رواناب در زمانهای مختلف برداشت شد و با توجه به میزان املاح حاصل از انحلال گچ موجود در رواناب و همچنین برآورد میزان رواناب متوسط سالانه مشخص شد که به طور میانگین در یک زیر حوضه به مساحت ۶,۲ هکتار، سالانه ۵,۴ متر مکعب از سنگهای گچی به وسیله رواناب بصورت محلول خارج می شود و برای شکل گیری یک فروچاله به حجم ۳۷۶,۴ متر مکعب، ۶۹ سال زمان لازم است که این نرخ بالای رشد فروچاله ها می تواند برای ساکنین این مناطق بسیار مخاطره آمیز باشد چرا که وجود حفرات زیرزمینی و فروچاله ها 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 زمین شناسی و پدیده‌های حاصل از انحلال سنگهای کربناته گفته می شود که با تجزیه و تخریب ساختمان این سنگ ها، رژیم آبشناختی بی همتایی شکل می گیرد و به تشکیل لندفرمهای ویژه‌ای می انجامد (وزارت نیرو، تماب، ۱۳۷۳). در مجموع همراهی سیستم هیدرولوژیک موثر و سازندهای تبخیری اعم از کربناته و سولفات می تواند زمینه ساز شکل گیری اشکال کارستی باشند. یکی از سنگهایی که کارستی شدن به راحتی و به سرعت در آن اتفاق می افتد سنگ گچ (ژیپس و انیدریت) می باشد (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، ناهمواری ها، سنگ شناسی، ستبری لایه های کربناتی، غلظت کربن، دمای پایین، فشار و شرایط

<sup>۱</sup>. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول)

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

<sup>۲</sup>. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان

<sup>۳</sup>. استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه ایلام

زمین ساختی است (وایت<sup>۱</sup> ۱۹۸۸). فروچاله‌ها فرورفتگی‌های بسته‌ای هستند که آن‌ها را به عنوان علامت مشخصه چشم اندازه‌های کارستی کربناته و تبخیری می‌شناسند. در سال‌های اخیر چندین طبقه بندی ژنتیکی برای فروچاله‌ها انتشار یافته است (گوتیرز<sup>۲</sup> 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 گسترده (کلیمچاک و همکاران<sup>۳</sup>، 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 ژیبسی پرداختند. بر اساس این بررسی مهم‌ترین 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<sup>۴</sup>؛ 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 ۶ تا ۱۰ cm/s محاسبه شده است. نتایج به دست آمده نشان داده است که درزهای با بازشدگی ۰/۵ میلی‌متر بعد از ۱۰ سال حدود ۲۰۵ میلی‌متر گسترش می‌یابد. احمد عباس نژاد (۱۳۸۹) در یک پژوهش در دشت کرمان - باغین با استفاده از هیدروشیمی آب، اینگونه عنوان می‌کند که به علت بالای بودن EC و نمایه انحلال سنگ‌های تبخیری و 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 (ژیبس) سازند گچساران و اثرات زیست محیطی آن در شرق خوزستان، فراوانی ساختارها (درزه‌ها و گسل‌ها) و عملکرد آب زیر زمینی را از عوامل اصلی تشکیل کارست در منطقه می‌دانند. همچنین اینگونه عنوان کرده‌اند که در نتیجه انحلال سنگ‌های ژیبسی، 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. طاوسی 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 (۲۰۱۳) در پژوهشی در مورد مخاطرات کارست ژیبسی می‌گویند فرایند کارست زایی و لندفرم‌های کارستی به بررسی و پژوهش ویژه نیاز دارند. نگارندگان می‌افزایند، کلید دانش حل مخاطرات ناشی از ایجاد کارست گچی، در کارست‌های زیر سطحی این مناطق نهفته هستند. کوپر و سندرز (۲۰۰۴) نیز در مطالعه‌ای، به مسائل و مشکلات عمرانی، به طور خاص جاده‌ها و سد‌ها در مناطق کارست‌های ژیبسی انگلستان پرداختند. در این پژوهش مقاوم سازی زیرساخت‌های جاده‌ها و پل‌ها تنها راه حل قرارگیری این سازه‌ها در مجاورت این سازندهای به شدت انحلال پذیر معرفی شده است. همچنین کوپر (۲۰۰۶) مخاطرات انحلال ژیبس در ریپون، یورکشایر شمالی، اوکراین را مورد بررسی قرار داد و اینگونه عنوان کرد که انحلال آسان ژیبس به وسیله آب می‌تواند باعث بروز مسائلی همچون فرونشست گردد. صفاری و همکاران (۱۳۹۵) با مروری بر خصوصیات لندفرم‌های کارستی در لایه‌های گچی، چند نکته مهم را گوشزد می‌کنند، یکی اینکه اساساً رخداد سازندهای گچی در سطح یا زیربنای یک منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است چرا که حتی اگر هم اکنون عوارض کارست گچی خاصی

<sup>1</sup> White 1988

<sup>2</sup> Gutierrez et al (2008)

<sup>3</sup> Klimchouk et al (1996),

<sup>4</sup> Gutierrez & Cooper, 2013

<sup>5</sup> Cooper, H, Anthony, M. Saunders, Jonathan, (2002)

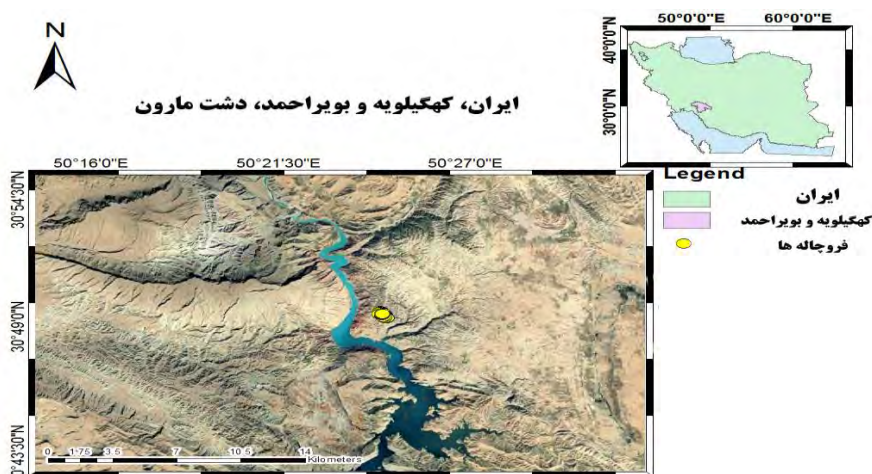


در آن وجود نداشته باشد، در اندک زمانی در اثر عوامل انسانی مانند آبیاری، برداشت آب، احداث و آبیگری سدها، معدنکاری، یا حتی تغییر کمی در شرایط اقلیمی به سرعت میتواند منجر به شکل گیری اشکال کارستی شود. نکته دوم اینکه بررسی عوارض کارست گچی در طول زمان بسیار مهم است، چرا که آنها میتوانند حتی در بازه های زمانی کوتاه نیز تغییرات قابل توجهی را نشان دهند. نکته دیگر اینکه فارغ از شکل های سطحی کارست گچی، کارست شدگی میان لایه های که به صورت ویژه ای و به سرعت در گچ ها رخ میدهد میتواند از سویی آبخوان های مناسبی را در چنین مناطقی ایجاد کنند و از سویی 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 آبوهوا 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 آبوهوای نیمه گرمسیری می باشد. دشت مارون در محدوده زاگرس چین خورده قرار گرفته و سازندهای گچساران، آسماری، بختیاری، گورپی، میشان، سروک، پابده و رسوبات کواترنری از جمله واحدهای لیتولوژیک 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.



شکل ۱- نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه در کشور و استان

### داده ها و روش ها

جهت انجام این پژوهش در ابتدا مساحتی بالغ بر ۱۶۰۰۰۰ 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، زیرحوضه‌ای با مساحت ۶٫۲ هکتار، شیب متوسط ۲۸ درصد و طول حوضه ۲۳۰۱٫۷ متر به منظور برداشت نمونه رواناب سطحی حین بارش انتخاب شد که تعدادی از فروچاله هایی که قبلا برداشت شده را نیز دربر گرفته است. نمونه‌های 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 ساعات ۵:۱۹، ۵:۴۵، ۸:۱۰، ۹ و ۹:۲۰ پس از شروع بارش، مجددا نمونه‌های دیگری از رواناب سطحی برداشت شد تا به این وسیله، تغییرات یون‌های 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 داده‌های بارش ۲۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی محدوده مورد مطالعه، داده‌های بارش روزانه ایستگاه هواشناسی مارون که در مجاورت منطقه مورد مطالعه قرار دارد، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شیت بهبهان، توپوگرافی DEM ۱/۵۰۰۰۰ ده متر محدوده مورد مطالعه که از باند C تصویر رادار سنجنده سنتینل ۲ تهیه شد، به عنوان داده‌های پژوهش استفاده شده اند. به منظور تجزیه و تحلیل داده ها و تهیه نقشه‌های مورد نیاز از نرم افزار Excel و ARC MAP و Surfer استفاده شده است.

### تجزیه و تحلیل داده ها

#### مشخصات فروچاله‌های منطقه مطالعاتی

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 فروچاله‌های دشت مارون

ردیف	طول	عرض	ارتفاع (m)	قطر بزرگ (m)	قطر کوچک (m)	شیب دهانه (درجه)	عمق (m)	حجم (m <sup>3</sup> )
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

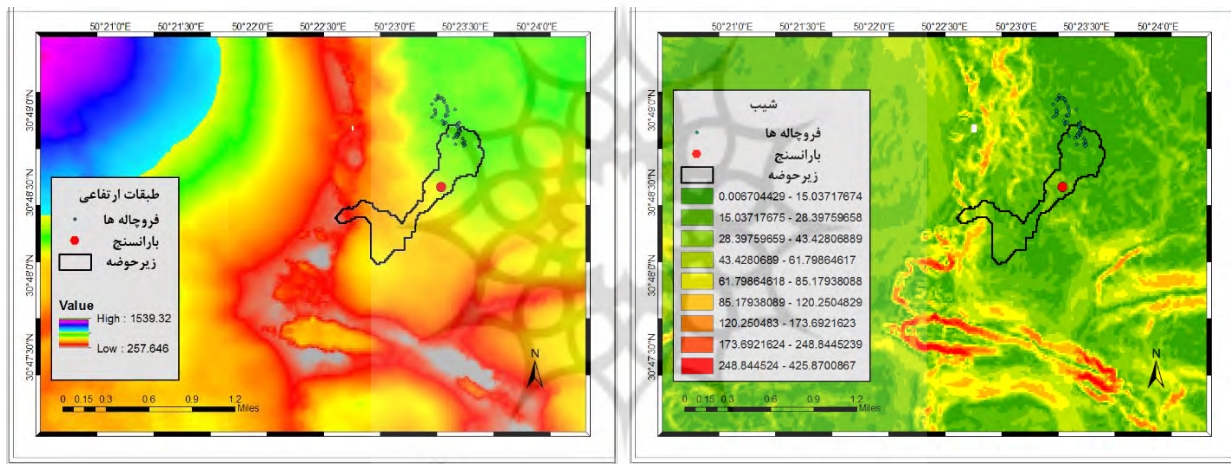


۱۹,۵	۱,۵	۷۰	۵	۵	۸۱۷	۳۴-۹۵۸۷	۴۴۱۵۷۱	۴
۵۰۶,۳	۶	۷۰	۹	۲۵	۸۱۹	۳۴-۹۵۹۱	۴۴۱۵۷۲	۵
۳۳,۷۵	۳	۷۰	۳	۱۰	۸۱۴	۳۴-۹۵۹۱	۴۴۱۵۶۶	۶
۱۵۶۳	۷	۹۰	۳۰	۳۰	۸۱۴	۳۴-۹۶۱۰	۴۴۱۵۵۲	۷
۸۸۱,۷	۶	۹۰	۱۵	۱۵	۸۱۲	۳۴-۹۶۰۱	۴۴۱۵۲۶	۸
۸۸۱,۷	۵	۱۰۰	۱۵	۱۵	۸۰۷	۳۴-۹۶۰۵	۴۴۱۵۰۹	۹
۸۸۱,۷	۶	۱۰۰	۱۵	۱۵	۸۱۴	۳۴-۹۶۲۵	۴۴۱۵۱۱	۱۰
۱۰۵	۴	۱۰۰	۱۰	۱۰	۸۱۶	۳۴-۹۶۳۱	۴۴۱۵۰۹	۱۱
۵۶	۲	۵۰	۱,۵	۵	۸۱۵	۳۴-۹۶۳۸	۴۴۱۵۰۷	۱۲
۴۲۰	۴	۱۰۰	۲۰	۲۰	۸۱۱	۳۴-۹۵۹۹	۴۴۱۴۹۲	۱۳
۶,۳	۱,۵	۹۰	۴	۴	۸۰۷	۳۴-۹۵۸۶	۴۴۱۴۸۴	۱۴
۳۰	۴	۹۰	۲,۵	۸	۸۰۷	۳۴-۹۵۸۸	۴۴۱۴۸۰	۱۵
۲۵۲۰	۶	۷۰	۴۰	۴۰	۸۱۱	۳۴-۹۴۷۶	۴۴۱۴۷۲	۱۶
۱۶۸۶,۵	۶	۷۰	۱۵	۵۰	۸۱۳	۳۴-۹۴۵۸	۴۴۱۴۸۰	۱۷
۱۷۷,۲	۳	۶۰	۱۵	۱۵	۸۱۵	۳۴-۹۴۳۳	۴۴۱۴۷۸	۱۸
۸۸,۷	۲	۵۰	۱۳	۱۳	۸۱۰	۳۴-۹۴۲۱	۴۴۱۴۷۲	۱۹
۱۲۱۵	۶	۱۲۰	۱۲	۴۵	۸۲۶	۳۴-۹۵۱۴	۴۴۱۶۰۶	۲۰
۴۰۵	۴	۹۰	۹	۳۰	۸۱۶	۳۴-۹۴۷۷	۴۴۱۶۰۶	۲۱
۳۸,۶	۳	۶۰	۷	۷	۸۱۴	۳۴-۹۴۸۴	۴۴۱۶۱۴	۲۲
۳۳۷,۵	۳	۶۰	۱۰	۳۰	۸۱۹	۳۴-۹۴۵۶	۴۴۱۶۲۱	۲۳
۶۷,۵	۵	۱۰۰	۶	۲۰	۸۲۳	۳۴-۹۴۷۶	۴۴۱۶۵۷	۲۴
۱۰۵۰	۷	۱۵۰	۱۰	۴۰	۸۲۴	۳۴-۹۲۳۳	۴۴۱۷۴۴	۲۵
۷۸,۸	۳	۱۰۰	۱۰	۱۰	۸۲۶	۳۴-۹۳۲۵	۴۴۱۷۴۵	۲۶
۱۷۷,۵	۴	۱۰۰	۱۳	۱۳	۸۲۶	۳۴-۹۳۱۱	۴۴۱۷۳۲	۲۷
۹۰	۴	۸۰	۴	۱۵	۸۲۵	۳۴-۹۳۰۶	۴۴۱۷۲۹	۲۸
۲۸,۴	۳	۱۰۰	۶	۶	۸۲۴	۳۴-۹۲۹۳	۴۴۱۷۲۳	۲۹
۲۹۵,۳	۵	۱۰۰	۱۵	۱۵	۸۲۳	۳۴-۹۲۷۸	۴۴۱۷۳۲	۳۰
۱۰۵	۴	۸۰	۱۰	۱۰	۸۲۶	۳۴-۹۲۸۲	۴۴۱۷۱۵	۳۱
۶,۳	۶	۹۰	۶	۶	۸۲۰	۳۴-۹۲۴۵	۴۴۱۷۳۶	۳۲
۴۷	۳	۸۰	۳,۵	۱۲	۸۲۱	۳۴-۹۲۳۹	۴۴۱۷۵۶	۳۳
۱۰۸	۶	۸۰	۴	۱۲	۸۲۲	۳۴-۹۲۳۱	۴۴۱۷۵۷	۳۴
۱۵۷,۵	۶	۸۰	۱۰	۱۰	۸۲۰	۳۴-۹۲۲۳	۴۴۱۷۴۷	۳۵
۱۸,۹	۲	۸۰	۶	۶	۸۲۱	۳۴-۹۲۰۶	۴۴۱۷۳۷	۳۶
۱۱۳,۳	۳	۶۰	۱۲	۱۲	۸۲۳	۳۴-۹۲۰۹	۷۷۱۷۱۶	۳۷
۴۱۳,۴	۷	۱۰۰	۱۵	۱۵	۸۲۳	۳۴-۹۱۹۱	۴۴۱۷۳۲	۳۸
۷۵,۸	۳	۶۰	۱۰	۱۰	۸۲۲	۳۴-۹۱۸۴	۴۴۱۷۱۲	۳۹
۳۱۵	۶	۱۰۰	۷	۲۰	۸۲۳	۳۴-۹۱۶۴	۴۴۱۷۱۷	۴۰
۲۶۹	۴	۱۰۰	۸	۸	۸۲۳	۳۴-۹۱۶۴	۴۴۱۷۱۷	۴۱
۵۰	۳	۷۰	۸	۸	۷۲۶	۳۴-۹۰۹۲	۴۴۱۸۰۴	۴۲
۱۹	۲	۸۰	۶	۶	۸۲۴	۳۴-۹۰۸۲	۴۴۱۸۰۰	۴۳
۱۰۵	۴	۷۰	۱	۱۰	۸۲۴	۳۴-۹۰۸۰	۴۴۱۸۱۲	۴۴
۲۹۵	۵	۷۰	15	۱۵	۸۲۱	۳۴-۹۰۶۹	۴۴۱۸۰۰	۴۵
۳۷,۸	۱	۴۰	۶	۶	۸۲۹	۳۴-۹۱۵۷	۴۴۱۶۸۲	۴۶
۱۵۱	۴	۱۰۰	۱۲	۱۲	۷۱۴	۳۴-۹۳۱۲	۴۴۱۵۷۲	۴۷
۱۰۵	۴	۸۰	۱۰	۱۰	۸۱۴	۳۴-۹۳۲۰	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 Covered karst، Interstratal karst و Bare karst هستند که البته با توجه به شرایط لایه‌های گچی در این دشت این پدیده‌های کارستی در دسته کارست برهنه تقسیم بندی می‌شوند چراکه لایه‌های گچی در سطح قرار دارند.

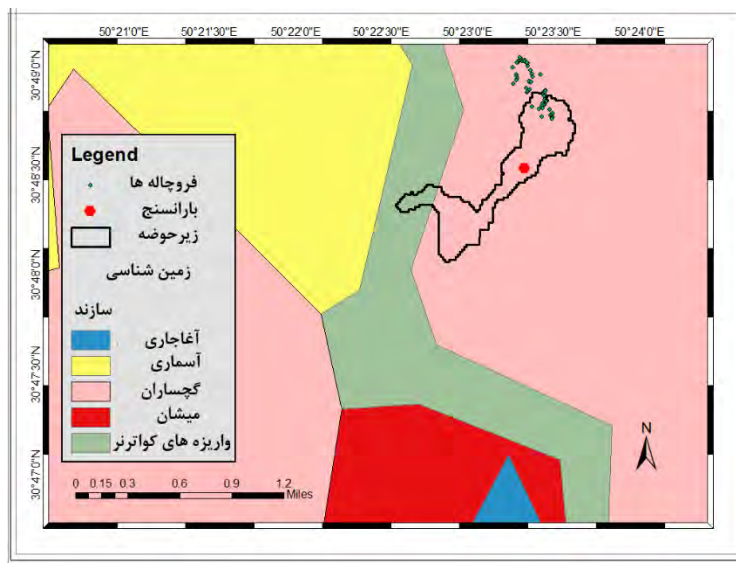
شکل‌های (۲ و ۳) موقعیت زیر حوضه و فروچاله‌های برداشت شده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. شکل (۳) نقشه وضعیت ارتفاعی این منطقه است و شکل (۲) آن وضعیت شیب را نشان می‌دهد. طبق نقشه شیب این زیر حوضه در محدوده‌ای با شیب نسبتاً ملایم قرار دارد.



شکل ۳ - نقشه طبقات ارتفاعی

شکل ۲ - نقشه شیب

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



شکل ۴ - نقشه زمین شناسی

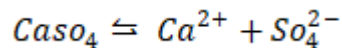
### هیدروشیمی رواناب

جهت تعیین نرخ رشد فروچاله ها لازم است تغییرات TDS و EC رواناب 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 رواناب میزان بارش ۱۰ میلیمتر اندازه گیری شد که این رقم در واقع آستانه تولید رواناب 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 رواناب 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 رواناب 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 روانابهای برداشت شده جهت اندازه گیری TDS و EC رواناب به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج آنالیزهای 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							
			1	۲	۳	۴	۵	۶	۷	8
			after .27 hours	after 5.19 hours	after 5.45 hours	after 8.10 hours	after 8.47 hours	after 9 hours	after 9.20 hours	0
۱	TDS (mg/l)	ICL/FQ/A/ 034	865	1900	1635	610	965	1150	1150	113.3
۲	Total Hrdness (mg/l) Caco3	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 انحلال یک کانی و یا سنگ مربوط به آنها وجود دارد. روند انحلال 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 مویستگی 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 مناسب‌ترین نمونه، نمونه رواناب شماره ۷ تشخیص داده شد. بعبارت 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 شیب 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 شیب 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 (۱۳۹۴:۱۱) سازند متشکل از لایه‌های مارن و لایه‌های بدون درز و شکاف گچی را جزو سازندهای با نفوذ کم با میزان  $(10^{-6} - 10^{-5} \text{ Cm/Sec})$  دسته بندی کرده اند، بنابراین لایه‌های گچی و مارنی دارای حداقل نفوذپذیری هستند. 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)

$$y = 0.2829x + 213.72$$

$$R^2 = 0.772$$

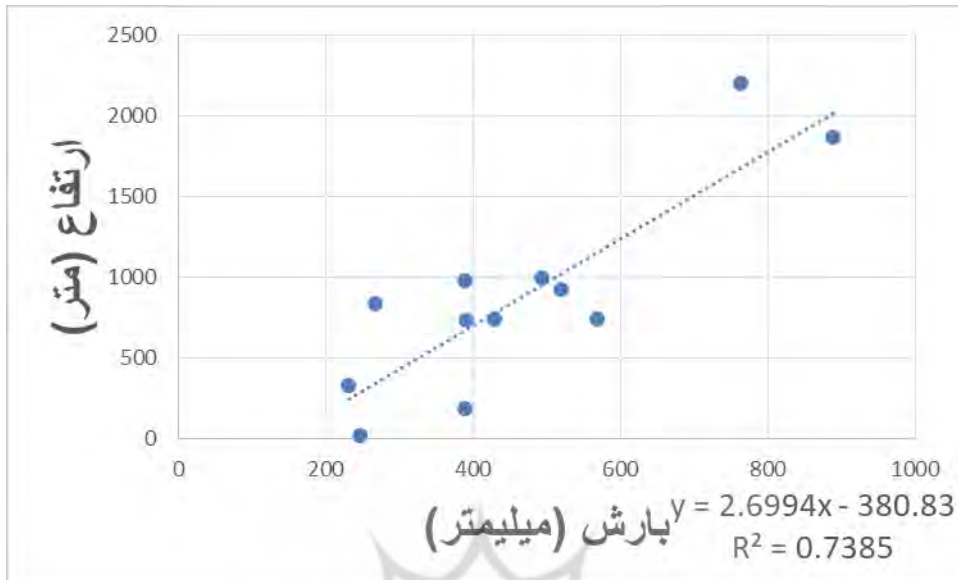
جدول ۳ - مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی

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
ایده	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

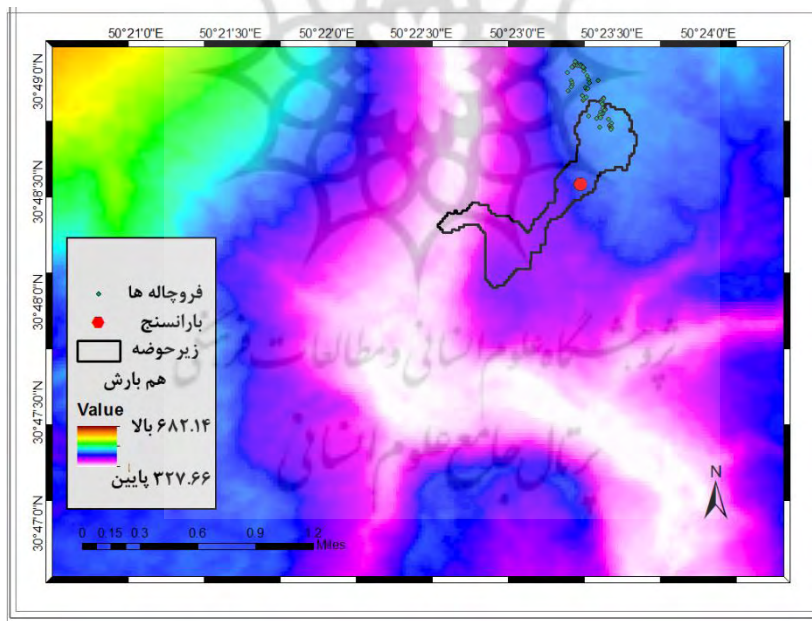




سیسخت      543027      3413064      764      2200



شکل ۵ - همبستگی 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 می‌توانند ایجاد کننده رواناب سطحی در زیر حوضه مطالعاتی باشند، 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 ۲

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

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 ۱۳۹۰-۱۳۹۱ این زیرحوضه ۳۷ درجه سانتیگراد و حداقل آن ۲۱ درجه سانتیگراد و مساحت آن نیز ۰.۶ 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 انحلال سالانه گچ 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، متوسط پارامترهای قطر بزرگ، b متوسط قطر کوچک و c متوسط عمق است.

رابطه (۳)

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

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

رابطه (۴)



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

h = عمق فروچاله

r = شعاع فروچاله

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 گچ شود.

### بحث و بررسی

#### فروچاله های دشت مارون

در این منطقه مطالعاتی دو فرم کلی فروچاله هایی با دهانه کشیده و فرچاله هایی با دهانه دایره ای شکل جلب نظر کرد. دلیل تنوع فرم فروچاله ها در دشت مارون تفاوت 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 ستبر گچی که دارای شیب ملایم و وجود نقاط وضعی 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.

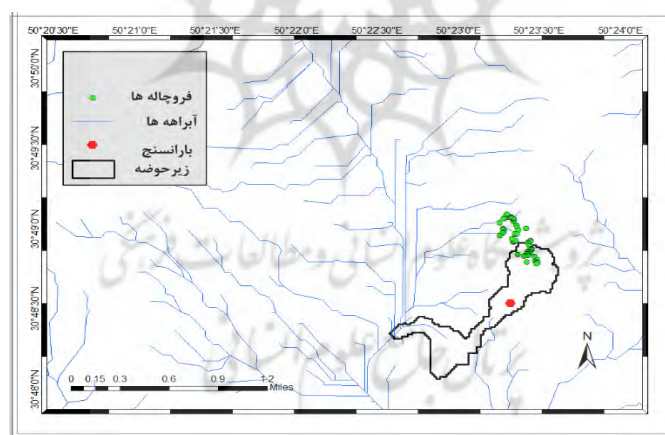


اشکال ( ۷ و ۸ ) - نمونه ای از فروچاله های کشیده ( اووالا ) و بیضی شکل در مسیر آبراهه



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 اووالا را 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 اووالای 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 شکل‌گیری فروچاله‌های موجود بر روی خطوط آبراهه با سایر فروچاله‌ها متفاوت بوده و شکل‌گیری 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 شکل‌گیری 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 جریان قرار دارد روند شکل‌گیری آنها از پایین دست به سمت بالا دست بوده به این شکل که از انتهایی‌ترین مکان ممکن شکل‌گیری فروچاله آغاز می‌شود و این روند به سمت بالا ادامه پیدا می‌کند. وجود پونورهای متعدد در این فروچاله‌ها سبب ایجاد یک ارتباط زیر سطحی به صورت تونل شده است. اما در مورد روند شکل‌گیری فروچاله‌های دارای دهانه دایره‌ای که خارج از حریم آبراهه‌ها ایجاد شده اند نیز باید گفت که این روند از بالا به پایین و به صورت عمودی و در محل نقطه ضعف لایه‌های گچی همچون شکاف و درزها بوده، این فروچاله‌ها نیز می‌توانند به صورت زیرسطحی با سایر فروچاله‌ها مرتبط باشند. پس از ورود جریان آب از طریق درزها و شکاف‌ها به داخل لایه‌های گچی و انحلال آنها که سبب شکل‌گیری فروچاله‌ها می‌شود این



جریان های آبی همچنان ادامه خواهد داشت و این جریان آب نیازمند خروجی هایی است که این مسیر در درزهای بین لایه های و یا شکاف های زیرسطحی 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 جریان های تجمع 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 زیرسطحی ایجاد شده اند. این فروچاله های ریزشی در بستر لایه های سطحی رس و گل سنگ و یا ماسه ایجاد شده است که عامل اصلی شکل گیری آنها انحلال گچ زیرسطحی 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 تغییر کند به تبع آن نسبت قطرها نیز تغییر خواهد کرد. همچنین فروچاله هایی در این محدوده مطالعاتی دیده شد که دارای دهانه ی 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 رخنمون 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، ضخامت زیاد لایه گچی و خلوص گچ و به دنبال آن جریان های سطحی توانسته اند زمینه ساز اصلی و محوری شکل گیری فروچاله های به این ابعاد و در این اقلیم خاص باشند. چرا که اگر در این مکان لایه های گچی دارای ضخامت کمتر و خلوص کمتری بودند این میزان بارش سالانه و یا حتی بیشتر قطعاً نمی توانست زمینه ساز شکل گیری فروچاله هایی با این ابعاد شود.

#### محاسبه روند رشد فروچاله ها

در راستای تخمین حجم خروجی انیدریت ( $\text{CaSO}_4$ ) 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  $\text{Ec}$  آن ۱۵۴۲ محاسبه شده است. همچنین بر اساس داده های آزمایشگاهی، میزان  $\text{TDS}$  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 انجمن تحقیقات کشاورزی هند سالانه ۱۳۰۲۰ متر مکعب آب از این زیرحوضه خارج می‌شود، بنابراین می‌توان گفت میزان املاحی که از این زیر حوضه خارج می‌شود ۱۵,۶ تن در سال است. انیدریت دارای وزن مخصوص ۲,۹ است. بنابراین طبق رابطه (5) میزان حجمی که از این زیرحوضه به صورت سالانه کاسته می‌شود ۵,۴ مترمکعب است.

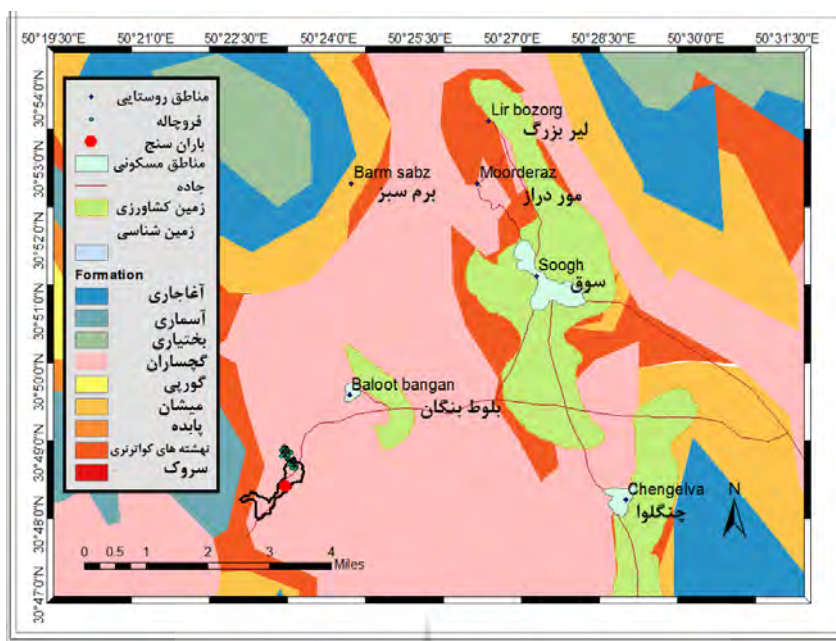
رابطه (5)

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

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 ابعاد 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 تسریع 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 آمده اند می‌توان میزان انحلال گچ 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 در مجموع ۲۵ درصد از منطقه پیمایش شده را فروچاله‌هایی 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 گچ، 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 تسریع 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 تسریع کننده بار معلق در آن محاسبه نشده است، که محاسبه این بار معلق نیاز به بررسی و مطالعه دارد. هدایت رواناب به وسیله فروچاله‌ها 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 بر گرفته که قابل مشاهده است و همچنین تونل‌هایی زیرسطحی که با این نرخ 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، می‌تواند 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 زمین های 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 داده های ۱۸ ساله مورد مطالعه قرار دادند که نتایج حاصل از این پژوهش ۰,۰۱۴ تا ۰,۰۱۶ 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 ۰,۰۱۷ 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 تکنیک های تجربی و آزمایشگاهی، ۲۳,۶۶ میلیمتر در هر هزار سال (با استفاده از فرمول کوربل) و ۱۲,۹۳ 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 کربناته در مقیاس 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 می تواند 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 دایره ای شکل و دیواره قیفی شکل و یا کاسه ای هستند. با در نظر گرفتن اینکه این فروچاله ها رواناب تجمیع 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 عمر یک انسان محسوب میشود، لذا این نرخ بالای انحلال و وجود حفرات زیر زمینی که سست بودن لایه های گچی را به دنبال دارد، می تواند ریسک ریزش های 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 اشباع 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 عمیق‌تر آنچنان تغییری به دنبال نخواهند داشت. نتایج موجود در جدول (1) 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 ستبری 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 پهنه بندی خطر وقوع فروچاله اندیشیده 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

- بهنیا، ابوالفضل. قنبر زاده، هادی. ۱۳۹۴، ژئومورفولوژی کارست.
- رضایی عارفی، محسن، زنگنه اسدی، محمدعلی، بهنیا، ابولفضل، 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 پیشبینی 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، قنوتی، عزت الله، علیجانی، فرشاد، محمدی، زکیه، (۱۳۹۵)، مروری بر خصوصیات لندفرم های کارستی در لایه های گچی، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۴، بهار ۱۳۹۵.
- طاوسی، نگار، فرخ نیا، اشکان، هوشیاری پور، فرهاد، (۱۳۹۷)، بررسی اثر سازند انحلا 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 هیدروژئوشیمیایی، نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد چهارم، شماره ۱ بهار و تابستان ۱۳۸۹.
- عبدالعلیخانی نژاد، طلیمه، منوری، سید مسعود، سیاوشی، مرتضی، زارعی، سعید، (۱۳۹۴). بررسی تحلیل ارزشیابی لندفیل 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، ساجدالدین، (۱۳۸۶)، انحلال پذیری ژپس 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 (ژپس) 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 ژپس و ایندریت، 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 تکنیک فعال حوضه آبریز مارون با استفاده از شاخص های ژئومورفیک، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۳.
- وزارت نیرو (تماب)، فرهنگ چندزبانه واژه های کارست، سازمان تحقیقات منابع آب (۱۳۷۳).
- Cooper, A.H., Gutiérrez, F., 2013, Dealing with gypsum karst problems: hazards, environmental issues, and planning, Treatise on Geomorphology, Academic Press, San Diego, 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., Orti, 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., Ortí, F., Gutiérrez-Elorza, M., Perez-Gonzalez, A., Benito, G., Gracia-Prieto, J., Durán, J.J., 2001, The stratigraphical record and activity of evaporite 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*.