

بررسی ساز و کار تشکیل فروچاله های دشت جابر در جنوب شرق استان ایلام

حاجی کریمی

عضو هیئت علمی دانشگاه ایلام

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۲۴

Haji.karimi@gmail.com

چکیده

فروچاله ها در مناطق مختلف دنیا با دیدگاههای متفاوت بویژه زمین شناسی مهندسی مورد توجه قرار گرفته اند. این مطالعه به بررسی ساز و کار تشکیل فروچاله های متعددی که در دشت جابر بدره واقع در استان ایلام قرار دارند، با ملاحظات مهندسی پرداخته است. فروچاله ها در سازند گچساران و یا آبرفتی که بر روی سازند گچساران قرار گرفته اند تشکیل گردیده اند. با بازدیدهای مختلف صحرایی موقعیت و ابعاد فروچاله های منطقه برداشت و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بررسی ها نشان داد که فروچاله ها اکثراً از نوع ریزشی هستند. چاه زمزم که بزرگترین فروچاله آبدار منطقه می باشد، از نظر ژئومورفولوژیکی یک پیرومتر طبیعی آب زیرزمینی نامیده شده زیرا با نوسانات آب زیرزمینی سطح آب در داخل آن بالا و پایین می رود. کارست دشت جابر از دیدگاه مهندسی در رده ۳ (کارست بالغ) قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: سازند گچی، فروچاله ریزشی، نرخ انحلال، کارست بالغ

مقدمه

(Moshkina, 1973; Wigley, 1973; Kushnir, 1988; James, 1992).

قبادی (۱۳۸۶) به بررسی مسائل مختلف مهندسی مرتبط با کارست پرداخته است.

یکی از مهمترین شواهد توسعه کارست، وجود دولین^۴ یا فروچاله می باشد. دولین یک فروافتادگی بسته (Closed) طبیعی در نواحی کارستی با زهکشی داخلی است. شیب دیواره آنها از ملایم (کم) تا قائم متغیر بوده و فرم کلی آنها از کاسه ای تا مخروطی و حتی استوانه ای (سیلندری) تغییر می کند. دولین ها همواره بعنوان یک پدیده و ابزار معرف کارست پیشرفته در نظر گرفته شده اند. شکل ۱ شش نوع دولین از نظر نحوه تشکیل در سازندهای آهکی را به نمایش گذاشته است (Waltham and Fookes, 2005) و بطور کلی چهار مکانیسم مختلف برای تشکیل دولین ها تشخیص داده اند: انحلال از بالا^۵، ریزش از زیر^۶، انتقال خاک های روئین^۷ و برداشته شدن نیروی نگهدارنده^۸. گاهی مکانیسم های مختلفی با هم عمل نموده و دولین های دارای چند منشا (Polygenetic) ایجاد می شوند. بنظر می رسد که مکانیسم های فوق را بتوان برای تشکیل فروچاله ها در گچ نیز بکار برد، تنها تفاوت، اختلاف در سرعت

یکی از سنگهایی که کارستی شدن به راحتی و به سرعت در آن اتفاق می افتد، سنگ گچ (ژیپس و انیدریت) می باشد (White, 1988). بطور تقریبی یک چهارم سطح قاره های دنیا از رسوبات تبخیری پوشیده شده اند (Ford and Williams, 1989; Gunay, 2002; Birk et al., 2002). با توجه به گستردگی سازند های تبخیری مانند سازندهای گچساران، کلهر، هیث، گنبد های نمکی در ایران و بویژه در زاگرس؛ و وجود گچ (ژیپس و انیدریت) بعنوان یکی از تشکیل دهنده های اصلی آنها، اهمیت آنها در مسائل زمین شناسی مهندسی مانند سدها، تونل ها، راه ها و خط آهن، ابنیه، معادن مبرهن و هیدراست، مخاطراتی از قبیل نشست زمین^۱، ریزش^۲ و تشکیل آبروچاله ها^۳ و تلفات جانی ناشی از آنها از جمله مهمترین مسائل در ارتباط با انحلال گچ می باشد (Yaoru and Cooper, 1997). مطالعات زیادی بر روی انحلال پذیری کانی های سولفات در راستای مسائل زمین شناسی مهندسی کارست انجام گرفته است (Laptev, 1939; Kuznetsov, 1947; Shternina, 1949; Zdanovsky, 1956; Sokolov, 1962; Zverev, 1967; Liu and Nancollas, 1971; Blount and Dickson, 1973; Mel'nikova and

4 - Doline

5 - Solution from above

6 - Collapse from below

7- Soil transport

8 -Removal of buoyant support

1 - Land or groundsubsidence

2 - Collapse

3 - Sinkholes

ایجاد شده اند، لیتولوژی این سازند با جزئیات بیشتر مورد ارزیابی قرار می گیرد. بر اساس مطالعات واتسون (۱۹۶۰) و جیمز و واینند (۱۹۶۵) سازند گچساران در خوزستان به ۷ بخش تقسیم می شود. این بخشها شامل:

۱- بخش یک: ضخامت آن ۳۹/۶ متر شامل تناوبی از لایه های ضخیم انیدریت با لایه های نازک آهکی بوده و به آن پوش سنگ^۱ هم گفته شده است.

۲- بخش دو: ضخامت آن ۱۱۳/۵ متر بوده و شامل نمک که در بین آن لایه های انیدریت و آهک نازکی نیز دیده می شود، می باشد.

۳- بخش سه: ضخامت آن ۲۲۵ متر و شامل دو قسمت است: نیمه زیرین از انیدریت و و بطور فرعی نمک است ولی بخش بالایی آن تناوبی از انیدریت، آهک و مارن است.

۴- بخش چهار: ضخامت آن ۸۳۴/۵ متر و شامل لایه های ضخیم نمک است که با مارن و آهک خاکستری یا انیدریت همراه است.

۵- بخش پنج: ضخامت آن ۳۰۸ متر است و تناوبی از انیدریت با مارن قرمز تا خاکستری می باشد.

۶- بخش شش: ضخامت آن ۲۷۸ متر است ولی ۱۰۳ متر ابتدایی آن تناوبی از انیدریت با مارن قرمز و آهک است و در کل شامل انیدریت با مارنهای قرمز یا خاکستری می باشد.

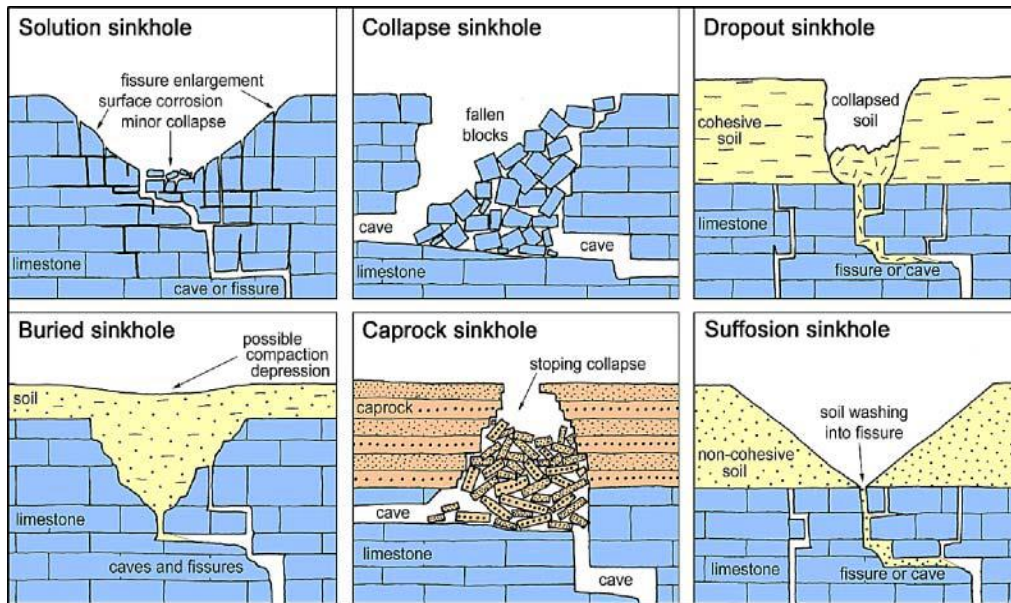
۷- بخش هفت: بطور همشیب میشان را پوشانیده و تناوبی از انیدریت و مارن خاکستری و آهک ماسه ای است.

در محدوده مورد مطالعه سازند گچساران از ژیبس، انیدریت و مارنهای قرمز متوسط لایه تشکیل شده است که بطور همشیب بر روی آسماری قرار گرفته و قسمت فوقانی آسماری بوسیله لایه ضخیمی از ژیبس پوشانده است. ضخامت تقریبی آن در این ناحیه حداکثر ۱۰۰۰ متر برآورد شده است (مهندسین مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۰). کلیه بخشهای سازند گچساران بجز بخشهای دو و چهار، در منطقه مورد بررسی وجود دارند. در این ناحیه هیچگونه آثاری از نمک در لایه ها و یا وجود چشمه های شور که بیانگر وجود لایه های نمک در افقهای زیرین باشد، ملاحظه نشده است؛ بنابراین بخش های ۲ و ۴ سازند گچساران در این منطقه وجود ندارد و یا در سطح انحلال پیدا کرده و قابل مشاهده نیست. سازند گچساران از ژیبس، انیدریت، مارنهای متوسط لایه قرمز و سبز زیتونی و بین لایه های نازک آهک فسیل دار تشکیل شده است. وجود باند نسبتاً ضخیمی از ژیبس (انیدریت) با ضخامت حدود ۲۰ متر در همبری بلا فصل سازند آسماری با این سازند از جمله خصوصیات سنگ شناسی سازند گچساران در محدوده مورد مطالعه می باشد. نسبت لایه های مارنی به گچی در سازند گچساران در این محدوده حدود ۲ به ۱ است. این نسبت در حوالی رودخانه کرخه بوسیله (Cucchi and Zini, 2003) ۱ به ۲ گزارش شده است. در برخی مناطق مانند محدوده سد سیمره لایه های نمک نیز در حفاری ها دیده شده است (شرکت مهندسی مهتاب قدس، ۱۳۸۱). ضخامت این سازند در محدوده مخزن سد سیمره حداکثر ۱۰۰۰ متر برآورد شده است. قابلیت انحلال بالای سنگ گچ باعث شده تا پدیده کارست در این سازند توسعه یافته و در اثر عملکرد آبهای جوی و فرو رو حفرات انحلالی زیادی در آن ایجاد گردد.

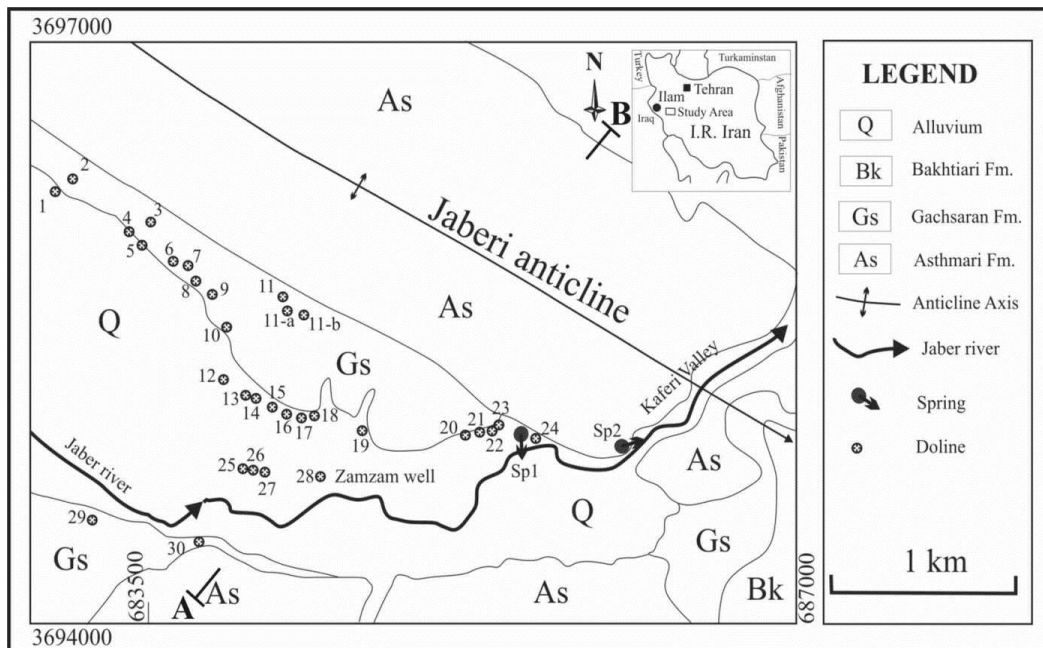
تشکیل آنها است (Gunay, 2002). با توجه به سرعت بالای انحلال در سازند های گچی، سرعت تشکیل فروچاله ها در گچ بسیار بیشتر از آهکها باشد (Beck, 1984; Waltham, 1989; White, 1988; Ford and Williams, 1989). در دشت جابر بدره در جنوب شرق استان ایلام یک چاه بزرگ دارای آب بنام چاه زمزم به قطر حدود ۱۰۰ متر و تعداد زیادی فروچاله در حاشیه دشت در گذشته تشکیل شده است. وقوع دو فروچاله جدید در حدود ۱۰ سال اخیر بعنوان یک نگرانی از تشکیل فروچاله های جدید مطرح گردید. از آنجا که از این دشت (برخلاف دیگر دشت های کشور که در اثر برداشت آب فروچاله هایی در آنها تشکیل گردیده) هیچگونه آبی پمپاژ نمی گردد، ساز و کار تشکیل فروچاله ها توجه مولف را به خود جلب نمود. در این راستا مطالعه حاضر به بررسی نحوه تشکیل چاه زمزم و فروچاله های دشت پرداخته و از دیدگاه مخاطرات طبیعی (با توجه به اینکه هم اکنون در این دشت کشاورزی صورت می گیرد) مسئله را مورد ارزیابی قرار داده است.

معرفی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

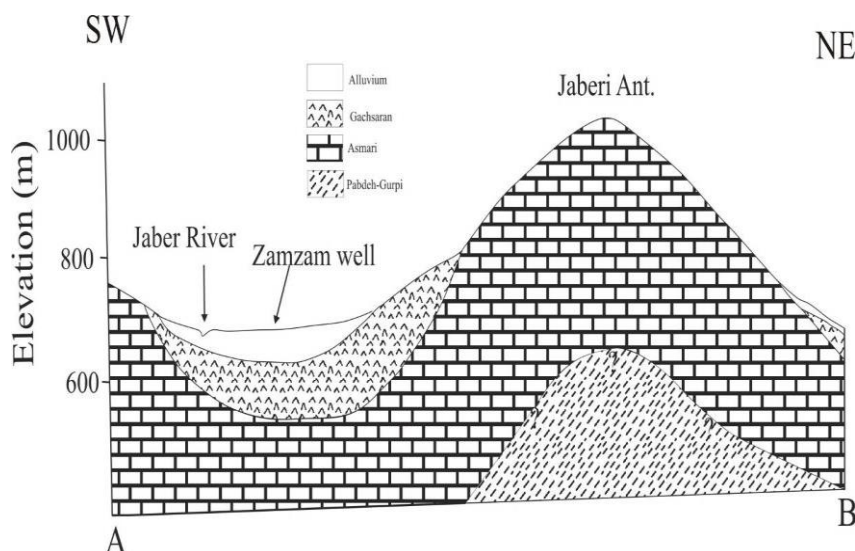
دشت جابر بدره حدود ۷۰ کیلومتری جنوب شرق شهر ایلام در مسیر جاده ایلام به دره شهر واقع شده است (شکل ۲). دشت مذکور و محدوده مورد بررسی در عرض جغرافیایی ۲۰° ۳۳' تا ۲۸° ۳۳' شمالی و طول جغرافیایی ۵۲° ۴۶' تا ۴۷° شرقی قرار دارد. متوسط آمار بارندگی بلند مدت (۲۶ ساله) در دشت جابر حدود ۴۴۰ میلیمتر و در ارتفاع متوسط طاقدیس جابری حدود ۴۶۰ میلیمتر است. بر اساس داده های موجود، متوسط دمای سالانه محدوده مورد بررسی ۱۸ درجه سانتیگراد و میزان تبخیر سالانه حدود ۲۰۰۰ میلیمتر است. نوع اقلیم منطقه بر اساس تقسیم بندی های کوپن، دمارتن و آمبروزه بترتیب مدیترانه ای، نیمه خشک و نیمه خشک معتدل می باشد (کریمی، ۱۳۸۶). محدوده مورد بررسی در زون زاگرس چین خورده واقع شده (Stocklin, 1968) و از دیدگاه زمین ریخت شناسی^۲ از رشته کوههای نسبتاً مرتفع با روند کلی شمال غرب- جنوب شرق تشکیل شده است. توالی طاقدیسها و ناودیسها در منطقه به خوبی قابل مشاهده می باشد. رودخانه جابر از سراب کلم سرچشمه گرفته و پس از عبور از تنگه کافری، به رودخانه سیمره می پیوندد (شکل ۲). دشت ناودیسی جابر در بین طاقدیس های جابری در شمال و طاقدیس کبیر کوه در جنوب واقع گردیده است. توالی سنگ چینه شناسی محدوده مورد مطالعه شامل سازندهای آسماری (آهک و دولومیت با سن الیگوسن- میوسن)، گچساران (تناوبی از گچ، مارن و گل سنگ با سن میو- پلیوسن)، سازند بختیاری (کنگومرا با سن پلیو پلیستوسن) و رسوبات عهد حاضر می باشد. رسوبات عهد حاضر در گستره مورد مطالعه متشکل از آبرفت های درشت دانه، رسوبات واریزه ای و رسوبات قدیمی رودخانه ای است. گسترش و ضخامت آبرفت در دشت ناودیسی جابر قابل ملاحظه است. یک مقطع عرضی در محدوده دشت جابر (مقطع AB در شکل ۲) تهیه گردید که در شکل ۳ نمایش داده شده است. از آنجا که در زیر آبرفتهای دشت جابر و در حاشیه آن سازند گچساران گسترش دارد و فروچاله های مورد بررسی در آن



شکل ۱. مکانیسم های مختلف تشکیل انواع فروچاله ها (Waltham and Fookes, 2005)



شکل ۲. نقشه زمین شناسی و پراکنندگی فروچاله های محدوده دشت



شکل ۳. مقطع عرضی در محدوده دشت جابر

مواد و روش ها

بمنظور دستیابی به اهداف مطالعه که بررسی نحوه تشکیل فروچاله زمزم و چاله های ریزشی دشت جابر می باشد، یکسری بررسی های صحرایی، اندازه گیری ها در محل، مطالعات آزمایشگاهی و کارهای دفتری به انجام رسیده است. اندازه گیریهای میدانی شامل برداشت اطلاعات سازندهای زمین شناسی، تهیه نقشه و مقطع زمین شناسی، شناسایی اشکال ژئومورفولوژی کارست بویژه بررسی دقیق فروچاله های منطقه و بویژه چاه زمزم، تهیه نقشه پراکندگی فروچاله ها و اندازه گیری های هیدروژئولوژیکی شامل نمونه برداری از منابع آب منطقه، اندازه گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب و آنالیز شیمیایی نمونه ها در آزمایشگاه می باشد. برای نیل به این اهداف، بازدیدهای متعددی از منطقه بعمل آمد. بمنظور جمع آوری اطلاعات فروچاله های منطقه و همچنین تهیه نقشه پراکندگی آنها، ابعاد تقریبی اعم از شکل کلی، قطر (طول و عرض) و عمق فروچاله ها با قدم شماری اندازه گیری و موقعیت آنها بوسیله GPS تعیین گردید. مشخصات ۳۰ فروچاله های منطقه در جدول ۱ ارائه شده است. نقشه پراکندگی این فروچاله ها در شکل ۲ آورده ارائه شده است. ابعاد چاه زمزم بوسیله دوربین نقشه برداری و عمق سنجی برداشت گردید (شکل ۴). جهت شناخت ساختارهای زمین شناسی و نحوه پراکنش فروچاله ها در منطقه، عکسهای هوایی و ماهواره ای منطقه نیز مورد بررسی قرار گرفته اند. به منظور آگاهی یافتن از کیفیت منابع آب، نمونه برداری هایی در فصول مختلف سال از آب چاه زمزم و سایر منابع آب منطقه که می توانست جهت تجزیه و تحلیل ها مورد استفاده قرار گیرد انجام شد که نتایج اندازه گیری ها در جدول ۲ آورده شده است. کاتیونهای مورد اندازه گیری شامل کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم و آنیونها شامل کربنات و بی کربنات، سولفات و کلر می باشد. آنالیز نمونه های آب در آزمایشگاه سازمان آب منطقه ای ایلام انجام گردیده است. محاسبه اندیس اشباع کانی های کلسیت (SI_c)، دولومیت (SI_d) و ژپس (SI_g) با

استفاده از مدل کامپیوتری WATEQF (Plummer et al, 1976) انجام گرفته است.

اشکال و پدیده های کارستی

در سازند گچساران در بخشهایی که گچها بطور مستقیم در سطح رخنمون دارند عوارض کارستی از قبیل حفره، کارنهای کوچک مانند Rillen Karren, Rain pit وجود دارد. وجود چشمه هایی با کیفیت متفاوت در بخشهای مختلف سازند گچساران (مانند چشمه شرشره در محدوده سد سیمره و در مجاورت منطقه مورد مطالعه) معرف این نکته است که در سنگهای گچی سازند گچساران توسعه کارست حتمی است. یکی از پدیده های بارز کارستی در سازند گچساران واقع در دشت جابر، وجود چاه زمزم و آبفروچاله های متعدد با ابعاد مختلف در حاشیه دشت می باشد. همچنین غارهایی در منطقه ملاحظه گردیده است. غار شماره ۱ (منطبق بر فروچاله شماره ۹ در شکل ۲) در حاشیه دشت و در محدوده ای که شیب لایه ها بسیار ملایم شده تشکیل شده است. طول قابل ورود این غار حدود ۱۵ متر بوده و شدیداً حالت ریزشی دارد. دهانه این غار در اثر ریزش در سطح زمین رخنمون یافته است. غار شماره ۲ (در محل فروچاله شماره ۱۱ در شکل ۲) در لایه گچی ضخیمی که در مجاورت بلافاصل سازند آسماری قرار دارد بوجود آمده است. این غار روانابهای حاصل از سطح سازند آسماری را در داخل خود فرو بلعیده و دارای ابعاد بسیار بزرگی است و باعث توسعه کارست در آن شده است. مسیر غار دارای شیبی در حدود ۳۵ درجه بوده که از شیب عمومی لایه بندی یال جنوبی طاقدیس جابری تبعیت می نماید. طول تقریبی آن ۹۰ متر، پهنای غار حدود ۴۰ و ارتفاع آن حدود ۷ متر و اجزا و بلوک های ریزشی^{۱۱} در آن بوفور اتفاق افتاده است.

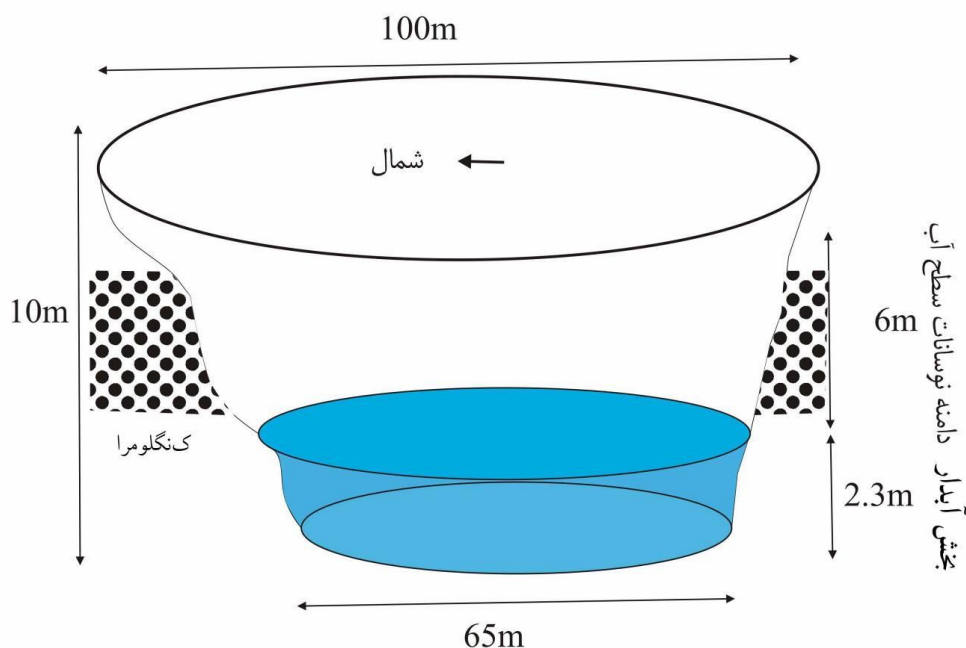
جدول ۱. مشخصات آبروچاله های موجود در دشت جابر بدره

شماره فروچاله روی شکل ۲	عرض جغرافیایی (UTM)	طول جغرافیایی (UTM)	عمق (m)	قطر (m)	سنگ شناسی	توصیف
۱	۳۶۹۶۲۲۹	۶۸۳۰۰۱	۶	۵۵	گچ	
۲	۳۶۹۶۲۵۹	۶۸۳۰۸۸	۲	۸	گچ	
۳	۳۶۹۶۰۵۲	۶۸۳۴۹۷	۱۰	۳۰	گچ	فروچاله ای که تمام آب آبراهه در آن فرو می رود.
۴	۳۶۹۶۰۲۶	۶۸۳۴۵۶	۸	۱۵	گچ	فروچاله غار مانند در امتداد فروچاله ۳
۵	۳۶۹۵۹۷۳	۶۸۳۴۶۰	۶	۲۰	گچ	کنار جاده بصورت پل
۶	۳۶۹۵۸۶۲	۶۸۳۶۱۴	۷	۲۵	گچ	فروچاله ای که کنار جاده نقش پل را بازی می کند
۷	۳۶۹۵۸۶۲	۶۸۳۶۳۴	۲	۱۵	گچ	
۸	۳۶۹۵۷۰۴	۶۸۳۷۵۹	۴	۳۰	گچ	
۹	۳۶۹۵۷۰۴	۶۸۳۸۳۱	۴	۸	گچ	فروچاله ای که به غار شماره ۱ وصل می شود
۱۰	۳۶۹۵۵۴۵	۶۸۳۹۰۱	۵	۲۵	مارن و گچ	
۱۱	۳۶۹۵۴۷۴	۶۸۴۱۶۲	۲۰	۸۰	گچ	ورودی غار بزرگ پای کوه (غار شماره ۲)
۱۱-a	۳۶۹۵۴۴۷	۶۸۴۱۷۵	۳۰	۷۵	گچ	جنوب شرق غار شماره ۲
۱۱-b	۳۶۹۵۴۰۷	۶۸۴۲۴۵	۲۰	۴۵	گچ	در جنوب شرق شماره ۱۱-a قرار دارد.
۱۲	۳۶۹۵۱۶۰	۶۸۴۰۴۸	۱/۳	۱۰	آبرفت	
۱۳	۳۶۹۵۱۰۲	۶۸۴۱۵۹	۰/۸	۱/۵	آبرفت	
۱۴	۳۶۹۵۱۰۲	۶۸۴۱۶۴	۰/۸	۱/۵	آبرفت	
۱۵	۳۶۹۵۱۰۰	۶۸۴۲۰۱	۲	۴	آبرفت	
۱۶	۳۶۹۵۱۰۰	۶۸۴۲۲۱	۱	۴	آبرفت	
۱۷	۳۶۹۵۰۷۷	۶۸۴۲۸۷	۲	۴	آبرفت	
۱۸	۳۶۹۵۰۸۲	۶۸۴۳۳۸	۲/۵	۱۰	آبرفت	
۱۹	۳۶۹۵۰۲۴	۶۸۴۶۵۴	۰/۵	۱/۵	گچ	
۲۰	۳۶۹۴۹۸۳	۶۸۵۳۳۲	۲	۳۰	مارن و گچ	
۲۱	۳۶۹۴۹۸۳	۶۸۵۳۶۲	۱	۲۰	گچ	
۲۲	۳۶۹۴۹۵۷	۶۸۵۳۶۸	۳	۱۱	گچ	
۲۳	۳۶۹۴۹۵۷	۶۸۵۳۷۳	۶	۱۰	گچ	
۲۴	۳۶۹۴۹۶۲	۶۸۵۵۸۵	۱/۵	۶	گچ	
۲۵	۳۶۹۴۷۹۸	۶۸۴۰۷۳	۱	۶	آبرفت	حدود ۱۰ متر غرب زمزم کوچک
۲۶	۳۶۹۴۷۹۸	۶۸۴۰۸۳	۸	۷	آبرفت	معروف به زمزم کوچک
۲۷	۳۶۹۴۷۹۸	۶۸۴۱۰۳	۲	۱۰	آبرفت	حدود ۲۰ متر شرق زمزم کوچک
۲۸	۳۶۹۴۷۵۳	۶۸۴۴۳۲	۱۱	۱۰۰	آبرفت	چاه زمزم
۲۹	۳۶۹۴۵۲۹	۶۸۳۲۲۸	۶	۳۵	گچ	
۳۰	۳۶۹۴۳۸۰	۶۸۳۷۳۹	۱۲	۶۰	گچ	



جدول ۲. نتایج اندازه گیری های آنالیزهای شیمیایی نمونه های آب منطقه

خطا (%)	T.An.	HCO ₃	Cl	SO ₄	T.Cat.	Na	K	Ca	Mg	دما (°C)	هدایت الکتریکی (µS/cm)	pH	دبی (L/s)	تاریخ	شماره در شکل ۲	محل
	meq/l															
۰/۸	۱۷/۲	۳	۰/۵	۱۳/۷	۱۷/۴۷	۰/۴۷	۰	۱۴/۱	۲/۹	۱۵/۷	۱۳۰۹	۷/۶		۱۳۷۶/۱۱/۱۵	۲۸	چاه زمزم
۰/۱۸	۱۶/۷	۲/۲	۰/۷۵	۱۳/۷۵	۱۶/۱۶	۰/۶۶	۰	۱۳/۲	۲/۹	۱۶/۳	۱۴۰۳	۷/۸۵		۱۳۸۴/۹/۲	۲۸	چاه زمزم
۰/۶	۱۴/۸	۲/۷	۰/۶	۱۱/۵	۱۴/۹۹	۰/۳۹	۰	۱۲/۸	۱/۸	۱۵/۳	۱۴۳۳	۷/۶۵		۱۳۸۴/۱۱/۲۱	۲۸	چاه زمزم
۰/۹	۱۵/۹۵	۳/۳	۰/۶۵	۱۲	۱۶/۲۵	۰/۵۵	۰	۱۳/۳	۲/۴	۱۸/۵	۱۲۰۱	۷/۲		۱۳۸۵/۱/۷	۲۸	چاه زمزم
۰/۴	۱۶/۲	۳/۲	۰/۶	۱۲/۴	۱۶/۳۲	۰/۵۲	۰	۱۳/۵	۲/۳	۲۵/۷	۱۴۰۱	۶/۸		۱۳۸۵/۳/۴	۲۸	چاه زمزم
۰/۳۴	۱۷/۵	۳/۳	۰/۷	۱۳/۵	۱۷/۶۲	۰/۶۲	۰	۱۴/۴	۲/۶	۱۹/۳	۱۴۵۵	۷/۵	۵	۱۳۸۴/۹/۲	Sp1	چشمه گچی
۰/۳۲	۱۲/۳	۳/۸	۰/۶	۷/۹	۱۲/۳۸	۰/۵۸	۰	۸/۹	۲/۹	۱۸/۳	۱۱۰۱	۷/۵۵	۱۹۰۰	۱۳۸۴/۹/۲	Sp2	چشمه کافری
۰/۲۶	۱۱/۴	۳/۴۵	۰/۳۵	۷/۶	۱۱/۴۶	۰/۳۶	۰	۸/۶	۲/۵	۱۸/۵	۹۷۱	۷/۳		۱۳۷۶/۱۱/۱۵	Sp2	چشمه کافری
۱/۲	۱۰/۸۲	۴/۱	۰/۸	۵/۹۲	۱۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۰۲	۵/۵	۴/۵	۱۷/۸	۱۰۰۵	۷/۲۱	۱۷۰۰	۱۳۷۹/۶/۲۱	Sp2	چشمه کافری
۰/۸	۱۰/۲	۳/۹	۰/۵	۵/۸	۱۰/۳۷	۰/۴۷	۰	۷/۵	۲/۴	۱۸/۶	۹۵۴	۷/۵		۱۳۸۵/۱/۷	Sp2	چشمه کافری
۰/۹	۱۰/۶۵	۳/۸	۰/۴۵	۶/۴	۱۰/۸۵	۰/۴۵	۰	۸/۱	۲/۳	۱۸/۸	۱۰۸۷	۶/۹	۱۷۰۰	۱۳۸۵/۳/۴	Sp2	چشمه کافری
۰/۶	۱۲/۹	۳/۶	۰/۵	۸/۸	۱۳/۰۵	۰/۴۵	۰	۱۱/۲	۱/۴	۱۷/۶	۱۲۳۷	۷/۳۵		۱۳۸۴/۱۱/۲۱	---	چشمه جابر
۰/۷	۱۱/۰۵	۳/۵	۰/۴	۷/۱۵	۱۱/۲	۰/۴	۰	۹/۴	۱/۴	۱۵/۵	۱۰۰۳	۷/۵	۱۸۰	۱۳۸۵/۱/۷	---	چشمه جابر
۰/۸	۱۰/۶	۳/۲	۰/۴	۷	۱۰/۷۸	۰/۳۸	۰	۸/۷	۱/۷	۱۹/۸	۱۰۸۷	۶/۸	۸۰	۱۳۸۵/۳/۴	---	چشمه جابر
۰/۹	۱۳/۷۵	۳/۴	۰/۶	۹/۷۵	۱۴	۰/۴	۰	۱۲/۱	۱/۵	۱۶/۵	۱۳۰۱	۷/۷۵		۱۳۸۴/۱۱/۲۱	۲۸	جوی زمزم
۰/۵	۱۳/۷۵	۳/۴	۰/۶	۹/۷۵	۱۳/۹	۰/۵	۰	۱۱/۴	۲	۱۹/۴	۱۳۳۷	۶/۴۵		۱۳۸۴/۱۱/۲۱	۲۸	نشت دیواره
۱	۱۴	۳/۴	۰/۵	۱۰/۱	۱۴/۲۸	۰/۴۸	۰	۱۱/۷	۲/۱	۱۹	۱۰۴۹	۷/۳		۱۳۸۵/۱/۷	۲۸	نشت دیواره
۰/۹	۱۱/۲	۲/۴	۰/۳	۸/۵	۱۱/۴	۰/۳	۰	۱۰	۱/۱	۱۳/۸	۱۱۱۲	۷/۴۵		۱۳۸۴/۱۱/۲۱	Jaber river	رودخانه کافری
۱/۳	۷/۵۵	۳	۰/۳	۴/۲۵	۷/۷۵	۰/۲۵	۰	۶/۶	۰/۹	۱۷/۲	۷۲۶	۷/۸۵		۱۳۸۵/۱/۷	Jaber river	رودخانه کافری
۰/۶	۱۰/۱	۲/۹	۰/۴	۶/۸	۱۰/۲۲	۰/۳۲	۰	۸/۴	۱/۵	۲۴/۳	۹۶۷	۶/۸۵	۲۵۰	۱۳۸۵/۳/۴	Jaber river	رودخانه کافری



شکل ۴. شکل سه بعدی چاه زمزم

اندازه بزرگ برخی دولین های ریزشی مانند چاه زمزم و آبروچاله های ۱۱ و 11-a می تواند نشانگر وجود یک کارست بالغ در زیر سطح باشد. وجود غارهای بزرگ زیرزمینی در چنین نواحی دور از انتظار نمی باشد (Waltham and Cooper, 1998). مطالعات ردیابی با مواد رنگی در ساختگاه سد سیمره در مجاورت منطقه مورد مطالعه نشانگر سرعت حرکت ماده ردیاب در داخل سازند گچساران معادل ۲۰ تا ۲۷ متر در ساعت بوده است (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۱). این سرعت بیانگر توسعه کارست و سیستم جریان مجرای^{۱۲} در سازند گچساران است. انتظار می رود که در سازند گچساران در دشت جابر نیز کارستی شدن بطور وسیع اتفاق افتاده باشد که وجود فروچاله های متعدد گواه بر این مدعاست.

ویژگی های فروچاله های منطقه

ویژگی های فروچاله های محدوده دشت جابر در جدول ۱ و پراکندگی آنها در شکل ۲ به نمایش گذاشته شده است. تنها فروچاله ای که در منطقه همیشه دارای آب می باشد، چاه زمزم بوده (شماره ۲۸ در شکل ۲) که سطح آب در داخل آن با تغییرات فصل و نوسانات سطح آب زیرزمینی، تغییر می کند که شکلهای ۵ و ۶ بخوبی نشان دهنده این نوسان در طول دوره مطالعه است. البته در سالهایی که بطور متوالی خشکسالی اتفاق افتاده (مانند سال ۱۳۷۸ و ۱۳۸۷)، چاه زمزم نیز بکلی خشک شده است. فروچاله زمزم کوچک (شماره ۲۶ در شکل ۲) در فصل پرآب، آبدار شده اما در فصل خشک، با پایین رفتن سطح ایستابی در دشت جابر، سطح آب در داخل آن همراه با سطح آب زیرزمینی افت نموده و نهایتاً خشک می گردد. سایر فروچاله های منطقه فاقد آب بوده و برخی از آنها که در مسیر آبراهه ها قرار گرفته اند، در هنگام بارش، روانابها را به داخل توده گچی و نهایتاً سفره آب زیرزمینی هدایت می کنند. در اکثر فروچاله های منطقه یک بخش پرشیب در حاشیه مشاهده می شود که بیانگر نشست و فعال بودن تشکیل این فروچاله ها است. در بیشتر آنها آثار ریزش و همچنین دیواره ای پرشیب مشاهده می شود. پوشش رسوبات، لایه های رسی و ماری و یا آبرفت های درشت در اکثر آنها قابل مشاهده بوده و احساس می شود در زیر به یکسری فضاهای خالی و یا غار متصل هستند. غارهای ۱ و ۲ در منطقه به فروچاله های شماره ۹ و ۱۱ اتصال دارند که تایید کننده این مطلب می باشد.



شکل ۵. نمایی از چاه زمزم در شرایط فصل تر (حداکثر تراز آب در فصل پر آبی) نگاه عکس به طرف جنوب غرب



شکل ۶. نمایی از چاه زمزم در شرایط فصل خشک (حداقل تراز آب در فصل کم آبی) نگاه عکس به طرف جنوب غرب

زمین ریخت شناسی چاه زمزم

آبرفت های دشت جابر، چشمه کافری خارج شده از آهکهای آسماری در تنگ کافری، رودخانه جابر، چاه زمزم، چشمه گچی، نشت از دیواره بین چاه زمزم و روخانه می باشد. تیپ آنها عمدتاً سولفات کلسیم و منیزیم است که در این میان چشمه کافری بدلیل خروج از آهک از میزان سولفات کمتری برخوردار است. چشمه جابر نیز بدلیل تخلیه از بالادست و تخلیه از آبرفت، تماس کمتری با گچهای سازند گچساران داشته است. با توجه به موقعیت قرار گیری چاه زمزم و نشت دیواره بین چاه زمزم و رودخانه در دیاگرام پایپر، می توان گفت که کلیه آب نشت کننده از دیواره تحت تاثیر چاه زمزم قرار نداشته و بعنوان تخلیه آب زیر زمینی از آن محدوده می توان تلقی نمود. بعبارت دیگر، آب نشت کننده از دیواره با آب چاه زمزم دقیقاً تطابق ندارد.

بررسی وضعیت اشباع نمونه های آب نشان می دهد که تقریباً کلیه آبهای محدوده مورد بررسی نسبت به کانیتهای کلسیت و تا حدودی دولومیت اشباع بوده اما تمامی آنها نسبت به کانی ژپس تحت اشباع هستند. بعبارت دیگر کلیه آبهای منطقه از جمله چاه زمزم، همچنان دارای پتانسیل انحلال گچ هستند و این امر بدلیل انحلال پذیری بالای گچ می باشد. هنگامی که ژپس با سنگهای کربناته در مجاور آن در تماس باشد، شیمی آب مرتبط با آن با شرایطی که ژپس یا آهک به تنهایی وجود داشته باشد متفاوت است. وجود ژپس به همراه سنگهای کربناته معمولاً ایجاد یک اثر کارستی شدن مرکب می کند. آبهای حاوی کربنات کلسیم بصورت خورنده^{۱۹} ژپس را حل نموده و بصورت همزمان کلسیت رسوب می نماید. تحت اشباع بودن آبهای مرتبط با سازند گچساران، علاوه بر بالا بودن میزان سولفات در آنها، را می توان مطابق مباحث فوق، به تاثیر و ورود آبهای سازند آسماری و تغذیه دشت جابر توسط این آبها نسبت داد. همچنین می توان استنتاج نمود که پدیده انحلال گچ در عمق بوسیله آبهای مرتبط ادامه دارد زیرا ظرفیت اشباع آب تکمیل نشده است. از این بخش می توان نتیجه گیری نمود که فرآیند تشکیل آبروچاله های منطقه یک پدیده فعال^{۲۰} بوده و در حال حاضر نیز تداوم دارد، زیرا مرتب در حال فرونشینی و نشست هستند و آثار پر شدگی چندان در آنها ملاحظه نمی شود (Forth et al., 1999).

در کلیه منابع آب به نسبت های مختلف مقداری رقیق شدگی در فصل تر ملاحظه می گردد. این رقیق شدگی بدلیل وقوع بارندگی و زمان کوتاه تماس آب با سفره ها اعم از گچی، آبرفتی و آهکی است. چنانچه میزان هدایت الکتریکی نمونه های آب (EC) را بعنوان نماینده املاح آب در نظر بگیریم، میزان رقیق شدگی در چاه زمزم و چشمه کارستی کافری حدود ۱۵ درصد، در چشمه جابر حدود ۲۰ درصد، در نشت دیواره حدود ۲۵ درصد و در رودخانه جابری به بیش از ۴۰ درصد می رسد. کم بودن میزان رقیق شدگی در چاه زمزم به این دلیل است که آب در مدت زمان کوتاهی بخش زیادی از ظرفیت انحلال گچ خود را تکمیل نموده و بسرعت املاح را در خود حل می نماید (Gunay, 2002). این در حالی است که در رودخانه جابر بدلیل ورود روانابهای ناشی از ذوب برفهای کبیرکوه و همچنین تماس کم با سازند گچساران، حداکثر رقیق شدگی ملاحظه می شود. چشمه جابر چون هم بصورت آبرفتی است و هم

چاه زمزم یک حوزه فروافتاده بسته^{۱۳} می باشد (White, 1988). چنانچه بر اساس تقسیم بندی وایت (۱۹۸۸) اقدام به نامگذاری آن نماییم، از آنجا که شکل مدور دارد و عمق آن کمتر از وسعت آن است، آنرا می توان یک دولین یا آبروچاله^{۱۴} نامید. اما در یک دولین آب به داخل سازند کارستی فرو می رود که چنین حالتی در آن اتفاق نمی افتد، بنابراین نمی توان آنرا دولین نامید. به این پدیده نمی توان عنوان چاه یا شافت^{۱۵} داد زیرا عمق آن کمتر از وسعت آن است. یکی دیگر از پدیده هایی که ممکن است به آن تعمیم داد، استاول^{۱۶} است (Ford and Williams, 1989). فرم استاول مانند یک فروچاله بوده که در شرایط هیدروژئولوژیکی مختلف دوگانه عمل می نماید؛ بدین ترتیب که در شرایطی که سطح آب زیرزمینی در منطقه پایین باشد آب در داخل آن فرو میرود و بصورت دولین یا آبروچاله عمل می نماید. در شرایطی که سطح آب زیرزمینی سفره بالا باشد، آب از دهانه آن خارج شده و بصورت چشمه عمل می کند. چنین عملکردی در چاه زمزم وجود ندارد چون حداکثر سطح آب آن تا حدود عمق ۲ متری از سطح زمین بالا می آید. در محل حداکثر سطح آب در این چاه گیاهانی رشد کرده اند که بیانگر خط حداکثر آب یا داغاب می باشند (شکل ۶) و آب بالاتر از آن بالا نیامده است.

چاه زمزم نمی تواند یک Cenotes باشد زیرا نسبت قطر به عمق کمتر از یک نیست (Bogli, 1980). Cenote دولین ریزشی است که در مناطقی که سطح ایستابی بالاست تشکیل می شود و نسبت قطر به عمق در آن کمتر از یک است. همانگونه که ذکر شد اتلاق نام چاه (Shaft) به چاه زمزم از نظر ژئومورفولوژیکی صحیح نمی باشد، چون عمق آن کمتر از قطر آن است. اما از آنجا که سطح آب در داخل آن نوسان می کند و بیانگر نوسانات سطح آب زیرزمینی در منطقه است، اهالی نام چاه به آن نسبت داده اند. نوسانات سطح آب در داخل آن ارتباطی با آبهای سطحی (رودخانه زمزم یا کافری) ندارد، زیرا در زمانی که رودخانه خشک بوده و فاقد آب می باشد، چاه دارای آب است. همچنین کیفیت آب چاه زمزم با رودخانه جابر کاملاً متفاوت است (جدول ۲). در واقع چاه زمزم یک چاه مشاهده ای طبیعی در آبخوان است که نوسانات سطح آب در آن مستقیماً نشان دهنده نوسانات سطح آب زیرزمینی است. این سفره ممکن است از زیر با آبخوان سازند آسماری نیز در تماس باشد، زیرا کیفیت آب چاه شباهت زیادی با آبهای خروجی از آهکهای تنگ کافری دارد. چاه زمزم را می توان یک پنجره سفره آب زیرزمینی^{۱۷} یا یک پیزومتر طبیعی^{۱۸} نامید.

هیدروژئولوژی

از منابع آب منطقه که در محدوده دشت جابر قرار دارند جهت بررسی کیفیت شیمیایی آنها نمونه برداری گردید. این منابع آب شامل چشمه جابر در

- 13 - Closed depression
- 14 - Sinkhole or Doline
- 15 - Shaft
- 16 - Estavel
- 17 - Groundwater window
- 18 - Natural piezometer

- 19 - Aggressive
- 20 - Active

دسته دوم، دولین های ریزشی سنگ پوشش^{۲۵}: همانگونه که بحث شد، سازند گچساران از تناوبی از گچ، رس (گل سنگ) و مارن تشکیل گردیده است. در بسیاری از فروچاله ها لایه ای غیر کارستی (مارن یا گل سنگ) بر روی گچ قرار گرفته است. با انحلال در داخل گچ و تشکیل حفره در عمق، وزن لایه (های) رویین باعث ریزش مواد در درون حفره می شود. شکل ۷ (B) بطور شماتیک نحوه تشکیل این فروچاله ها را نشان می دهد. فروچاله های شماره ۱۵، 11-a، ۹ و ۲۰ را می توان از این دسته قلمداد نمود. بیشتر فروچاله های منطقه در این دسته قرار می گیرند.

دسته سوم، ریزش رسوبات سست و تحکیم نیافته روئین^{۲۶}: این دسته دولین ها در داخل رسوبات آبرفتی دشت جابر ایجاد شده اند و دیواره های آنها از رسوبات ایجاد شده است. در محدوده مرکز دشت جابر ضخامت زیادی از رسوبات آبرفتی درشت دانه وجود دارد. در مدل های ارائه شده بوسیله محققین، فروچاله های ریزشی از این دسته، رسوبات ریزدانه بر روی گچ یا سازند کارستی قرار گرفته اند. اما در دشت جابر رسوبات درشت دانه اند. انتظار می رود که در چنین شرایطی فروچاله های فرونشستی^{۲۷} ایجاد گردد و ریزش در آنها اتفاق نیفتد. این در حالی است که فروچاله های تشکیل شده بصورت ریزشی هستند. نحوه ایجاد این فروچاله ها را می توان بدین صورت توجیه نمود که رسوبات درشت دانه موجود، بر روی تناوب لایه های گچی و رسی (گل سنگ) که در عمق قرار دارند واقع شده اند. با ایجاد حفره در عمق و اعمال وزن طبقات فوقانی بویژه رسوبات ضخیم درشت دانه، ریزش در عمق اتفاق افتاده، اما بدلیل وجود ضخامت زیادی از رسوبات درشت دانه، این ریزش تنها در بخش آبرفتها قابل مشاهده بوده و آثاری از سازند گچی در داخل فروچاله مشاهده نمی شود. شکل ۷ (C) مراحل تکاملی تشکیل این فروچاله ها را به نمایش گذاشته است. چاه زمزم و فروچاله های شماره ۲۵، ۲۷ و ۲۶ (زمزم کوچک) از این دسته فروچاله ها هستند. نوسانات سطح آب زیرزمینی می تواند در شکل گیری این فروچاله ها موثر باشد، زیرا با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی (بویژه در دوره های خشکسالی) تنش موثر وارده بر سقف فضای خالی (حفره کارستی) افزایش یافته و باعث ریزش می گردد. چنانچه سطح آب زیرزمینی تا سطح زمین بالا آید و مرتباً نوسان کند باعث تشدید تشکیل آبرفروچاله ها می شود. ساختمان و خواص خاک رویین نیز در تشکیل آبرفروچاله بسیار اهمیت دارد. پس از احداث سد سیمره، دریاچه آن بخش زیادی از دشت جابر را زیر آب برده و با کم و زیاد شدن سطح آب در داخل مخزن سد، تشکیل آبرفروچاله ها در این دشت تشدید می نماید. وجود آبرفت های درشت دانه با نفوذپذیری بالایی که دارند، باعث انتقال سریع و راحت آب از مخزن سد به داخل سفره کارستی (گچی) که در عمق قرار دارد گردیده و یکی از عوامل اصلی توسعه کارست که همان آب تحت اشباع نسبت به ژیبس و انیدریت است، در سیستم وارد گردیده و نرخ توسعه کارست و ابعاد فضاهای خالی را افزایش می دهد.

احتمالاً از زیر در بخشهایی با سازند گچساران در تماس می باشد، مقدار رقیق شدگی بینابینی دارد.

آبخوان موجود در دشت جابر بدنه تنها یک آبخوان آبرفتی بنظر نمی رسد، بلکه در بخش شمالی دشت که طاقدیس جابر وجود دارد، و طاقدیس مزبور توسط سازند گچساران احاطه گردیده، در برخی قسمت ها بوسیله دره های پوشیده از آبرفت قطع گردیده و پتانسیل تخلیه آب از سازند آسماری بصورت زیرسطحی به سازند گچساران و آبرفتهای دشت جابر دارد. از طرف دیگر احتمال دارد مقدار کمی از آبهای سازند آسماری بتدریج از داخل سازند گچساران عبور نموده و وارد آبرفتهای دشت جابر گردد. تشابه کیفیت و تیپ آب چشمه های خروجی از سازند آسماری در تنگ کافری و آب چاه زمزم می تواند دلیل این مدعا باشد.

مکانیسم تشکیل چاه زمزم و فروچاله های دشت جابر

چهار عامل اساسی بعنوان لوازم و ملزومات توسعه کارست توسط محققین مختلف (Lamont-Black et al., 2002; Gunay, 2002; Johnson, 1996; Martinez et al., 1998) معرفی گردیده که شامل وجود سازند قابل انحلال، وجود آب تحت اشباع، انرژی جهت حرکت آب در داخل سیستم و وجود خروجی در سیستم می باشد. کلیه ملزومات فوق در منطقه مورد مطالعه وجود دارد و شرایط توسعه کارست و نهایتاً تشکیل فروچاله را فراهم نموده است. در منطقه مورد بررسی، سازند گچساران وجود داشته که دارای لایه های گچی بوده که گاهی ضخامت آنها به حدود ۲۰ متر هم می رسد و همچنین این گچها بوسیله آب بارندگی تغذیه می شوند. تغذیه بصورت برجای^{۲۱} و یا بصورت دگرزا یا تغذیه نقطه ای^{۲۲} است که منشا این تغذیه آبهای جریان یافته از روی سازند آسماری و یا بخشهای نفوذناپذیر سازند گچساران است.

کلیه فروچاله های موجود در دشت جابر بدنه دارای مکانیسم تشکیل یکسانی نیستند؛ اگرچه پدیده ریزش^{۲۳} یکی از عوامل اصلی تشکیل فروچاله ها در این منطقه است و بطور کلی این فروچاله ها در دسته فروچاله های ریزشی قرار می گیرند. اجمالاً فروچاله های ریزشی (رمبشی) موجود در منطقه را بر اساس تقسیم بندی ارئه شده بوسیله Waltham and Fookes (2005) می توان به سه زیرگروه (دسته) از نظر نحوه تشکیل تقسیم بندی نمود:

دسته اول، فروچاله های ریزشی^{۲۴}: این فروچاله ها در داخل لایه های گچی تشکیل گردیده و ریزش در داخل گچ به وقوع پیوسته است. شکل ۷ (A) بطور شماتیک نحوه شکل گیری این نوع فروچاله ها را در منطقه نشان می دهد. مطابق این مکانیسم، در اثر نفوذ آب از سطح گچها و یا از سازند های مجاور که از روی آنها رواناب ایجاد شده و وارد گچ شده، فضای خالی در زیر ایجاد گردیده که در نهایت بعلت عدم مقاومت سقف آن، ریزش به وقوع پیوسته است. از این نمونه ها می توان به فروچاله های شماره ۵، ۱۱ و ۳۰ اشاره نمود.

25 - Caprock collapse dolines
26 - Dropout dolines
27 - Subsidence dolines

21 - Autogenic or diffuse recharge
22 - Allogenic or point recharge
23 - Collapse
24 - Collapse dolines

ملاحظات زمین شناسی مهندسی در دشت جابر

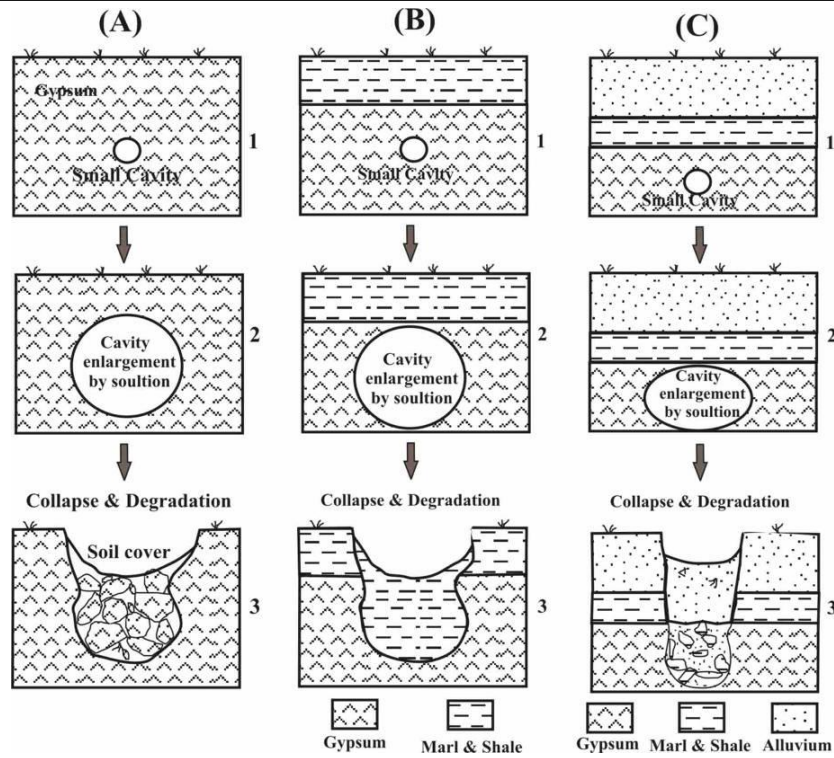
را در یک منطقه تشخیص داد. مقایسه منطقه جابر با طبقه بندی ارائه شده نشانگر آنست که این منطقه از نظر توسعه کارست از دیدگاه مهندسی در کلاس ۳ یعنی کارست بالغ^{۲۹} قرار می گیرد. در کارست بالغ که معمولاً در نواحی حاره ای یا مدیترانه ای تشکیل می شود، فروچاله ها از فراوانی بالایی برخوردار بوده و اندازه آنها ممکن است به ۱۰۰ متر هم برسد. غارهای نسبتاً بزرگی در این نواحی تشکیل گردیده و ممکن است ریزش سقف غارها باعث تشکیل فروچاله های ریزشی گردد.

نتیجه گیری

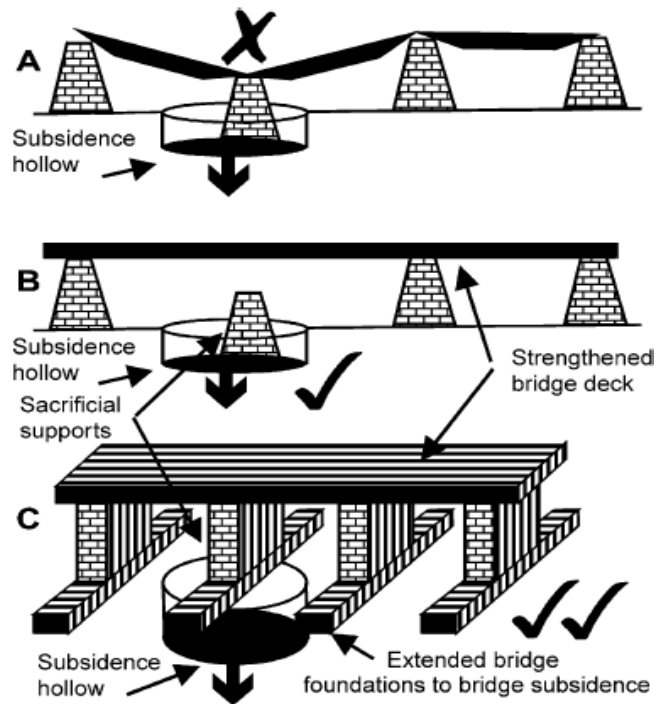
در منطقه جابر بدره فروچاله های زیادی در سازند گچساران و آبرفت های دشت جابر وجود دارند. چاه زمزم تقریباً در تمام طول سال و فروچاله زمزم کوچک (فروچاله شماره ۲۶) در ماههای پرآب سال دارای آب بوده و سطح آب در آنها با تغییرات سطح آب زیرزمینی نوسان می کند. از نظر ژئومورفولوژیکی و بر اساس طبقه بندی های موجود، نمی توان آن را در هیچ یک از دسته بندی ها قرار داد؛ به همین دلیل چاه زمزم، یک پنجره سفره آب زیرزمینی^{۳۰} یا یک پیژومتر طبیعی^{۳۱} نامیده شده است. مکانیسم تشکیل این فروچاله ها و همچنین چاه زمزم بصورت ریزشی یا رومبشی می باشد و سه مکانیسم مختلف برای تشکیل آنها ارائه گردیده است. از دیدگاه مهندسی، امکان وقوع ریزش در این دشت دور از انتظار نبوده و باید در طراحی های مهندسی ریسک خطر وقوع ریزش بایستی لحاظ گردد. بر اساس تقسیمات مهندسی، کارست دشت جابر در کلاس ۳ (کارست پیشرفته یا بالغ) قرار می گیرد.

انحلال ژیبس و ریزشهای ناشی از آن می تواند باعث تخریب ساختمانها گردد و خسارت های جانی و مالی زیادی ایجاد نماید (Guerrero et al., 2004). چنین شرایطی نیز در دشت جابر بدره دور از انتظار نیست. مشکلات ناشی از وجود گچ در زمین شناسی مهندسی به دو صورت مطرح است (Yilmaz, 2001): نشست و ریزش ناشی از انحلال گچ و آبیگری انیدریت و تورم^{۲۸} آن در اثر تبدیل شدن انیدریت به ژیبس می تواند اتفاق بیفتد.

یکی از مسائل اصلی در رابطه با گچ، نرخ انحلال سریع آن و پتانسیل انحلال پذیری بالا بوده که می تواند در طول مدت زمان کوتاهی، انحلال پیشرفت نموده و برای پروژه های عمرانی مسئله ساز گردد (قبادی، ۱۳۸۶). بطور مثال چنانچه در امتداد یک مسیل یا آبراهه، آب قابل ملاحظه ای وارد گچ گردد، می تواند در طول مدت کوتاهی (در حد چند سال) فضاهای کارستی در زیر توسعه یافته و باعث ریزش در آن محدوده گردد. در شرایطی که راهسازی در مناطق کارستی ضروری باشد، بایستی اجرای پلها به گونه ای باشد که چنانچه یکی از پایه ها در اثر ریزش تخریب شود، پل تماماً فرو نرزد و سایر پایه ها تحمل بار بدنه را داشته باشد. به منظور کنترل تماس پایه با خرپایه بایستی تجهیزات الکترونیکی را نصب کرد تا در صورت نشست جزئی در هر یک از پایه ها و جدایش خرپایه، بکمک تجهیزات ابزار دقیق و سیستم هشدار دهنده از وضعیت پل اطلاع پیدا کرد. شکل ۸ نمونه ای از نحوه اجرای پل در مناطقی که امکان ریزش در آن محتمل است، به نمایش گذاشته است. بخش A شکل نشان دهنده شرایطی است که در صورت ریزش یک پایه، پل فرو ریخته و تخریب می گردد. اما در بخش B سطح پل به گونه ای تقویت گردیده که در صورت ریزش یک پایه، سایر پایه ها قدرت نگهداری پل را داشته و تمام پل فرو نمی ریزد. در بخش C طراحی پایه های پل به گونه ای است که گسترش آنها از ابعاد فضاهای ریزشی بزرگتر است تا قابلیت نگهداری پایه را داشته باشد (Cooper and Saunders, 2002; Guerrero et al., 2004). از دیگر مسائلی که در رابطه با گچ در مطالعات زمین شناسی مهندسی ویژه جاده سازی مطرح است، موضوع آبیگری انیدریت و تبدیل آن به ژیبس است. این تبدیل با افزایش حجم همراه بوده و نیروی زیادی وارد می نماید. وجود موجها و دست اندازها در مسیر جاده هایی که در زیر جاده رگه های گچی وجود دارد با همین مکانیسم انجام می شود. تنها راه مقابله با این پدیده، جلوگیری از رسیدن آب به لایه های انیدریتی است. برای این کار باید تا فاصله کافی از طرفین جاده و یا ابنیه احداث شده بر روی انیدریت، بصورت نفوذ ناپذیر در آمده و با مواد یا سازه های مستحکم مانند بتن بر روی بخش گچی، در صورت آبیگری آن، از تورم آن جلوگیری نمود. از آنجا که در محدوده فروچاله ها بیشترین پتانسیل انحلال، توسعه کارست و نهایتاً ریزش وجود دارد، بهترین روش کاهش خطر در ارتباط با جاده ها، فاصله گرفتن از آبروچاله ها و عبور جاده از مناطق غیر گچی است. Waltham and Fookes (2005) یک طبقه بندی مهندسی برای کارست ارائه نموده اند تا بر اساس شواهد موجود، بتوان وضعیت توسعه کارست



شکل ۷. مراحل و مکانیسم تشکیل فروچاله ها در سنگ گچی (A)، سنگ گچ با پوشش مارن و شیلی (B) و سنگ گچ با پوشش مارن و شیلی و رسوبات ضخیم لایه و درشت دانه (C).



شکل ۸. نحوه طراحی و آرایش پایه پلها بمنظور جلوگیری از تخریب پل در صورت وقوع ریزش در یکی از پایه های آن (Cooper and Saunders, 2002).

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه ایلام به انجام رسیده است. از همکاریهای کارشناسان سازمان آب منطقه ای ایلام بویژه آقایان پاکزاد، نوروزی، آهونبر و کاظمی تقدیر بعمل می آید.

منابع

- شرکت مهندسی مهتاب قدس (۱۳۸۱) طرح سد و نیروگاه سیمره (مطالعات مرحله دوم)، گزارش زمین شناسی مهندسی، ۱۹۴ ص.
- قبادی، م ح (۱۳۸۶) زمین شناسی مهندسی کارست، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان.
- کریمی، ح (۱۳۸۶) بررسی مکانیسم تشکیل چاه زمزم بدره بمنظور بهبود پروژه های عمرانی، طرح پژوهشی دانشگاه ایلام، ۱۳۲ ص.
- Appelo, C. A. J. and Postma, D., 1996. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*, Balkema, Rotterdam, 536 p.
- Beck, B.F., (editor) 1984. *Sinkholes: Their Geology, Engineering and Environmental Impact*, Rotterdam: Balkema.
- Birk, S; Liedl, R. and Sauter, M., 2002. Characterisation of gypsum karst aquifers by heat and solute transport simulations, *Acta Geologica Polonica*, Vol. 52, No. 1, pp. 23-29.
- Bogli, A. 1980. *Karst hydrology and physical speleology*, Berlin, Springer.
- Cooper, A.H., 1986. Subsidence and foundering of strata caused by the dissolution of Permian gypsum in the Ripon and Bendale areas, north Yorkshire. *Geological special publication*, no. 22, p.127-139.
- Cooper A. H and Saunders J.M., 2002. Road and bridge construction across gypsum karst in England. *Engineering Geology* 65, p. 217–223.
- Cucchi, F and Zini, L., 2003. Gypsum karst of Zagros Mountains (I.R. Iran), *Acta Carsologica*, v. 31, no. 1, p. 69-82.
- Drever, J.I., 1996. *The Geochemistry of Natural Waters*, 3rd ed., Prentice Hall, New Jersey, 436 p.
- Ford, D.C., P.W. Williams (1989) *Karst geomorphology and hydrology*. London: Chapman and Hall.
- Forth, R.A; Butcher, D. & Senior R., 1999. Hazard mapping of karst along the coast of the Algarve, Portugal, *Engineering Geology* 52 , p. 67–74.
- Guerrero J., Gutierrez F. & Lucha P., 2004. Paleosubsidence and active subsidence due to evaporite dissolution in the Zaragoza area (Huerva River valley, NE Spain): processes, spatial distribution and protection measures for transport routes. *Engineering Geology*, v. 72, p. 309–329.
- Gunay G., 2002. Gypsum karst, Sivas, Turkey. *Environmental Geology*, v. 42, p. 387-398.
- Johnson, K.S., 1996. Gypsum karst in the United States of America. *International Journal of Speleology* 25 (3–4), 184–194.
- Klimchouk, A.B., Ford D.C., Palmer A.N and Dreybrodt W., 2000. *Speleogenesis, evolution of karst aquifers*. USA: National Speleology Society, Inc.
- Lamont-Black J., Younger P.L, Forth R.A., Cooper A.H. and Bonniface J.P., 2002. A decision-logic framework for investigating subsidence problems potentially attributable to gypsum karstification. *Engineering Geology*, v. 65, p. 205–215.
- Langmuir, D., 1997. *Aqueous Environmental Geochemistry*, Prentice Hall, NJ, 600 p.
- Martinez, J.D., Johnson, K.S. and Neal, J.T., 1998. Sinkholes in evaporate rocks. *American Scientist* 86, 39–52.
- Murphy P.J., 2000. The karstification of the Permian strata east of Leeds. *Proceedings of the Yorkshire geological society*, v. 53, p. 25-30.
- Paukstys B., Cooper A.H. and Arustiene J., 1999. Planning for gypsum geohazards in Lithuania and England. *Engineering geology*, v. 52, p. 93–103.
- Plummer, L.N., Jones, B.F. & Truesdell, A.H., 1976. 'WATEQ-A Fortran IV Version of WATEQ, A Computer Program for Calculating Chemical Equilibria of Natural Water', U.S. Geological Survey, Water Resources Investigation Report, 76–13, 61 p.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran, A review, *Amer. Assoc. Petrol. Geologists Bull.*, v.52, No.7, p. 1229-1258.
- Waltham, A.C., 1989. *Ground Subsidence*, Glasgow: Blackie and New York: Chapman and Hall
- Waltham T., 2002. Gypsum karst near Sivas, Turkey. *Cave and karst science*, VOL. 29, NO. 1, P 39–44.
- Waltham T. and Copoper A., 1998. Features of gypsum caves and Karst at Pinega (Russia) and rRipon (England). *Cave and karst science*, VOL. 25 NO 3, P. 131- 140.
- Waltham, A.C. and Fookes P.G., 2005. Engineering classification of karst ground conditions, *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, v. 3 (1), p. 1-19.

- White, W.B., 1988. Geomorphology and hydrology of karst terrains. New York: Oxford university press.
- Yaoru L. & Cooper A.H., 1997. Gypsum karst geohazards in China. The engineering geology and hydrogeology of karst terranes, Rotterdam, p. 117-126.
- Yilmaz I., 2001. Gypsum/anhydrite: some engineering problems. Bulltien of Engineering Geology Environment, v. 59, p. 227-230.