

## نقش لیتولوژی و ساختارهای تکتونیکی در گسترش کارست، تغییر آبدهی و کیفیت چشمه‌های کارستی منطقه آبگرم قزوین

محمدحسین فبادی<sup>\*</sup>، علیرضا طالب بیدختی<sup>۲</sup>، علی اکبر مومنی<sup>۳</sup>

پذیرش مقاله: ۹۰/۵/۵

دریافت مقاله: ۸۸/۴/۳

### چکیده

منطقه مورد مطالعه در ۹۰ کیلومتری جنوب غربی شهر قزوین و در زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه، تنوع گسترده‌ای از سنگ‌های کربناته و سنگ‌های آواری و آذرآواری از سن کامبرین تا الیگو-میوسن را شامل می‌شوند و دارای گسترش سطحی قابل ملاحظه‌ای هستند. مطالعات انجام شده بر پایه ارزیابی ۳۶۹ چشمه موجود در منطقه آوج-آبگرم استوار است. از ۳۶۹ چشمه موجود ۲۳ چشمه از نوع کارستی بوده و در بخش آهکی سازند قم، سازند لار و سنگ آهک‌های کرتاسه قرار دارند. تغییرات آبدهی این چشمه‌ها، تحت تأثیر لیتولوژی، موقعیت و میزان شکستگی‌های تکتونیکی، شدت کارستی شدن سنگ‌های کربناته منطقه، میزان بارندگی و همچنین نوع و بزرگی آبخوانی است که این چشمه‌ها را تغذیه می‌کنند. بر اساس آنالیز شیمیایی صورت گرفته روی پنج نمونه آب اخذ شده از چشمه‌های بزرگ کارستی منطقه، تیپ و رخساره آب چشمه‌ها، بی‌کربنات سدیک و کلروسدیک است. هیدروژئوشیمی آبخوان‌های کارستی منطقه، متأثر از قابلیت انحلال سنگ‌های کربناته سازندهای قم و لار، تغذیه سطحی از سازند قرمز فوقانی و اختلاط با شورابه‌های عمقی بالارونده در سنگ آهک‌های کرتاسه می‌باشد که منشاء هیدروترمالی برای آن محتمل است.

**کلید واژه‌ها:** کارست، چشمه‌های کارستی، ساختارهای تکتونیکی، هیدروژئوشیمی، آبگرم قزوین، کیفیت آب

۱- دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، amirghobadi@yahoo.com

۲- عضو هیئت علمی گروه زمین شناسی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) و دانشجوی دوره دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

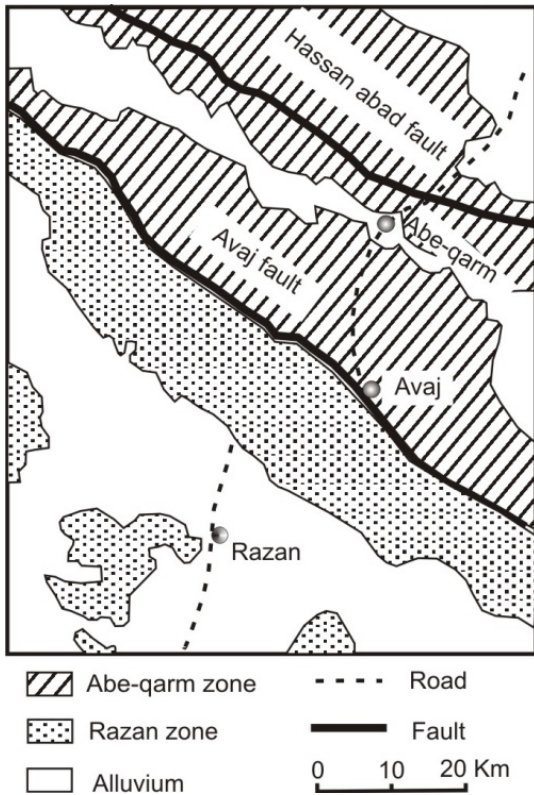
۳- عضو هیئت علمی گروه زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود و دانشجوی دوره دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

\*مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

با افزایش جمعیت و ضرورت تأمین نیازهای آبی، اهمیت مطالعه منابع آب زیرزمینی کارستیک بیشتر آشکار می‌گردد. زیرا آب شرب حدود ۲۵٪ از جمعیت جهان از منابع موجود در سنگ‌های کارستی تأمین می‌شود (Ford & Williams, 1989) در حال حاضر منابع فراوانی از آب زیرزمینی مناسب به صورت آبخوان‌های کارستی در زاگرس، البرز و ایران مرکزی وجود دارد که شناخت، ارزیابی و بهره‌برداری از آنها در گرو انجام پژوهش‌های کاربردی است. به دلیل وجود رخنمون‌های کارستیک در منطقه آبگرم، ارزیابی پدیده کارست، نقش لیتولوژی و تکتونیک در روند تکاملی این پدیده از دیدگاه هیدروژئولوژی مورد توجه قرار گرفته است. گسترش سنگ‌های آهکی و دولومیتی در ناحیه، وجود تکتونیک فعال، موقعیت و گسترش شکستگی‌های موجود در سنگ‌های منطقه، زمینه را برای گسترش پدیده‌های کارستی از قبیل کارن‌ها، کانال‌های انحلالی، غارها و چشمه‌های کارستی مهیا نموده است. وجود این پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مناطق کارستی که نقش مهمی در جذب نزولات جوی و نفوذ آب دارند، به شناسایی منابع آب زیرزمینی در هر منطقه کمک شایانی می‌نمایند (قبادی، ۱۳۸۸). تعدد چشمه‌های کارستی در ناحیه که در جنوب باختری قزوین واقع است نیز از توسعه آبخوان‌های کارستی حکایت دارد. این منطقه در محدوده ۱۰'۴۹° تا ۳۰'۴۹° طول شرقی و ۳۸'۳۵° تا ۵۲'۳۵° عرض شمالی جای گرفته و شهر آبگرم در مرکز ناحیه قرار دارد (شکل ۱). فاصله قزوین تا آبگرم در حدود ۹۰ کیلومتر است.

زمین‌شناسی و توالی چین‌نگاری ناحیه نشان داده شده است (Bolourchi, 1978).



شکل ۱. موقعیت منطقه آوج - آبگرم قزوین بر روی نقشه ساختاری آوج

(Geological and Mineral Survey of Iran, 1976)

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود از دیدگاه چین‌شناختی انواع سنگ‌های پرکامبرین تا نهشته‌های عصر حاضر در منطقه وجود دارد. در شمال روستای کیسه جین در شمال غربی منطقه، می‌توان تناوب سازندها از دولومیت سلطانیه تا سازند قم را به صورت تقریباً پیوسته مشاهده نمود. سازند قم همراه با واحدهای آهکی سازند لار با سیمای صخره‌ای و مرتفع و سازند شمشک با واحدهای شیلی و با شیب ملایم و ارتفاع کم، در منطقه گسترده هستند. گسترش سنگ‌های کربناته، وجود رودخانه‌های کلنجین و خررود، عملکرد هوازدگی و فرسایش، و نیز

۲. زمین شناسی

ناحیه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی ساختاری در زون ایران مرکزی واقع شده، لیکن سازندهای آن به دلیل قرابت و احتمالاً هم حوضه بودن با البرز تا قبل از ترشیاری، مشابه با البرز بوده است. آوج با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ وضعیت

(Om<sub>qv1</sub>)، واحدهای آهکی (Om<sub>ql</sub>) و واحد مارنی (Om<sub>qm</sub>) تشکیل شده (شکل ۲). به دلیل توسعه انحلال‌پذیری در بخش آهکی، از قدرت آبدهی خوبی برخوردار است. در این سازند آثار و پدیده‌های ژئومورفولوژی کارست به تعداد زیاد دیده می‌شوند. رسوبات کواترنر نیز از گسترش قابل ملاحظه‌ای در منطقه برخوردار بوده و آبدهی متوسط تا خوبی دارند.

### ۲-۳. واحدهای با نفوذپذیری متوسط

واحدهای با نفوذناپذیری متوسط در منطقه شامل دولومیت سلطانیه که دارای خلل و فرج و شکستگی‌های مناسب با آبدهی متوسط می‌باشد و در شمال روستای کیسه‌جین رخنمون دارد. سازند میلا به سن کامبرین که متشکل از دولومیت آهکی، دولومیت‌های توده‌ای با میان لایه‌هایی از شیل و مارن است. در این سازند استعداد نفوذپذیری دولومیت‌های شیلی بیشتر از دولومیت‌های آهکی با میان لایه‌های مارنی است (وزارت نیرو، ۱۳۷۹). سازند فجن، متشکل از کنگلومرای با سیمان آهکی به سن ائوسن است. در این سازند به علت انحلال سیمان آهکی درز و شکاف‌های موجود گسترش نسبی پیدا کرده‌اند. سازند مذکور چشمه‌های نسبتاً زیاد با آبدهی کم دارد. سازند زیارت متشکل از سنگ‌های آهکی نومولیتی است که چشمه‌های موجود در آن به دلیل توسعه کم درز و شکاف‌ها، آبدهی متوسطی دارند. سازند قرمز فوقانی متشکل از دو واحد  $M_1$  و  $M_2$  است. واحد  $M_1$  متشکل از ماسه‌سنگ، مارن همراه با ژئوپس و گنبد‌های نمکی است (شکل ۲). واحد  $M_2$  از کنگلومرای با سیمان آهکی و رسی تشکیل شده و گسترش قابل ملاحظه‌ای در جنوب و جنوب‌غرب محدوده مورد مطالعه دارد.

### ۳-۳. واحدهای با نفوذپذیری پایین

این واحدها شامل سازند باروت با تناوبی از ماسه سنگ و شیل است که قدرت آبدهی آن بستگی مستقیم به نسبت

تعدد ساختارهای تکتونیکی سبب ایجاد تنوع ریخت‌شناسی در منطقه گردیده است. منطقه مورد مطالعه با متوسط بارندگی ۳۲۰ میلی‌متر در سال، زمستان‌هایی سرد و تابستان‌هایی معتدل دارد.

## ۳. هیدروژئولوژی واحدهای سنگی

واحدهای سنگی منطقه محل ظهور چشمه‌ها هستند ولی تنوع لیتولوژیکی و پیچیدگی‌های ساختارهای زمین‌شناختی تعیین خصوصیات هیدروژئولوژیکی آنها را مشکل می‌سازد. این واحدها به دلیل تفاوت در خصوصیات سنگ‌شناختی (کربناته و غیرکربناته)، میزان شکستگی‌ها و تخلخل ثانویه از نظر میزان نفوذپذیری، با هم متفاوت هستند. به این دلیل در مطالعات صحرائی بر مبنای میزان نفوذپذیری به سه گروه تقسیم شده‌اند.

### ۳-۱. واحدهای با نفوذپذیری بالا

به دلیل عملکرد شدید تکتونیک و شرایط لیتولوژیکی، بخش‌های وسیعی از منطقه از واحدهای نفوذپذیر تشکیل شده است. این واحدها به ترتیب سنی شامل سنگ آهک سازندهای روته و نسن به سن پرمین فوقانی که در شمال ناحیه گسترش محدود دارند؛ سازند الیکا به سن تریاس با لیتولوژی دولومیت و با میان لایه‌هایی از سنگ آهک که در جنوب شرق منطقه گسترش یافته‌اند؛ سازند لار به سن ژوراسیک و شامل دولومیت، سنگ آهک متبلور به همراه میان لایه‌هایی از ژئوپس که به دلیل تحمل تکتونیک شدید، توسعه درز و شکاف و گسترش کارست، آبخوان‌های مناسبی دارد؛ سنگ‌های کرتاسه که شامل واحد  $K_1$  متشکل از آندزیت و واحد  $K_2$  متشکل از سنگ آهک‌های با میان لایه‌هایی از مارن می‌باشند؛ سازند کرج متشکل از توف‌های سبز رنگ، آندزیت و سنگ‌های آتشفشانی (شکل ۲)، که در محدوده مورد مطالعه، دارای گسترش قابل ملاحظه‌ای است و به دلیل درز و شکاف زیاد از قدرت آبدهی خوب تا متوسط برخوردار است؛ سازند قم که از واحدهای بازالتی

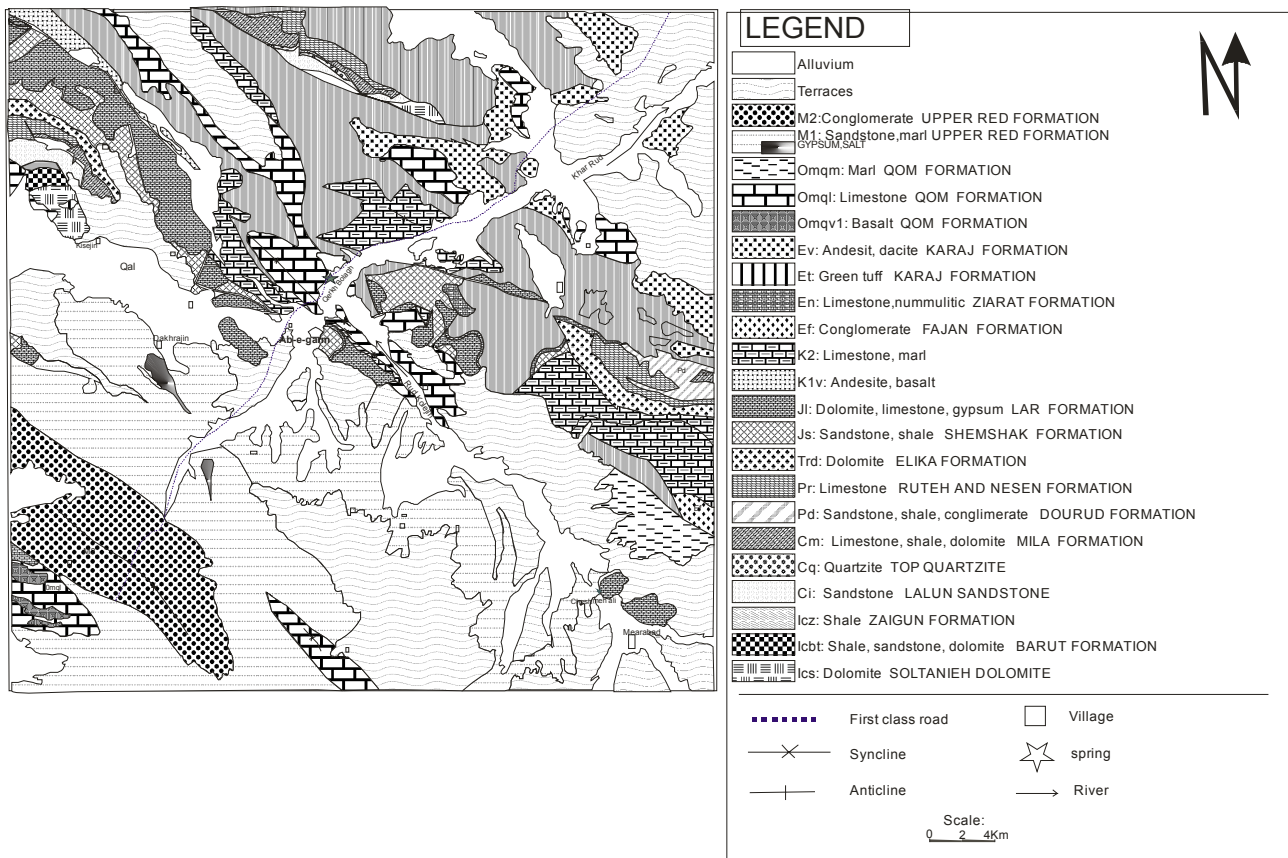
کنگلومرها با میان لایه‌هایی از مارن و ماسه سنگ دارای قدرت آبدهی ضعیفی است و در برخی نقاط فاقد آبدهی می‌باشد.

#### ۴. زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک

یکی از مهمترین عوامل ایجاد آبخوان کارستی وجود درز و شکاف موجود در سنگ‌های کربناته است که امکان ورود آب و جریان یافتن آن را به داخل توده سنگ فراهم می‌کند. به این معنا که طی فرایندهای تکتونیکی با ایجاد درزه‌ها در توده‌های سنگی، کارستی شدن در جهت درزه‌های عمودی، افقی و مایل گسترش پیدا می‌کند. شکل‌گیری اشکال زیرزمینی مانند مجاری به هم پیوسته و تشکیل آبخوان‌های کارستی به سیستم درزه‌های موجود وابسته است (قبادی، ۱۳۸۸).

بین ماسه سنگ و شیل دارد. بدین ترتیب که هر چه میزان ماسه سنگ بیشتر باشد قدرت آبدهی این سازند بیشتر خواهد بود. سازند زاگون با لیتولوژی شیل، دارای نفوذپذیری خیلی پایین و قدرت آبدهی ناچیز است.

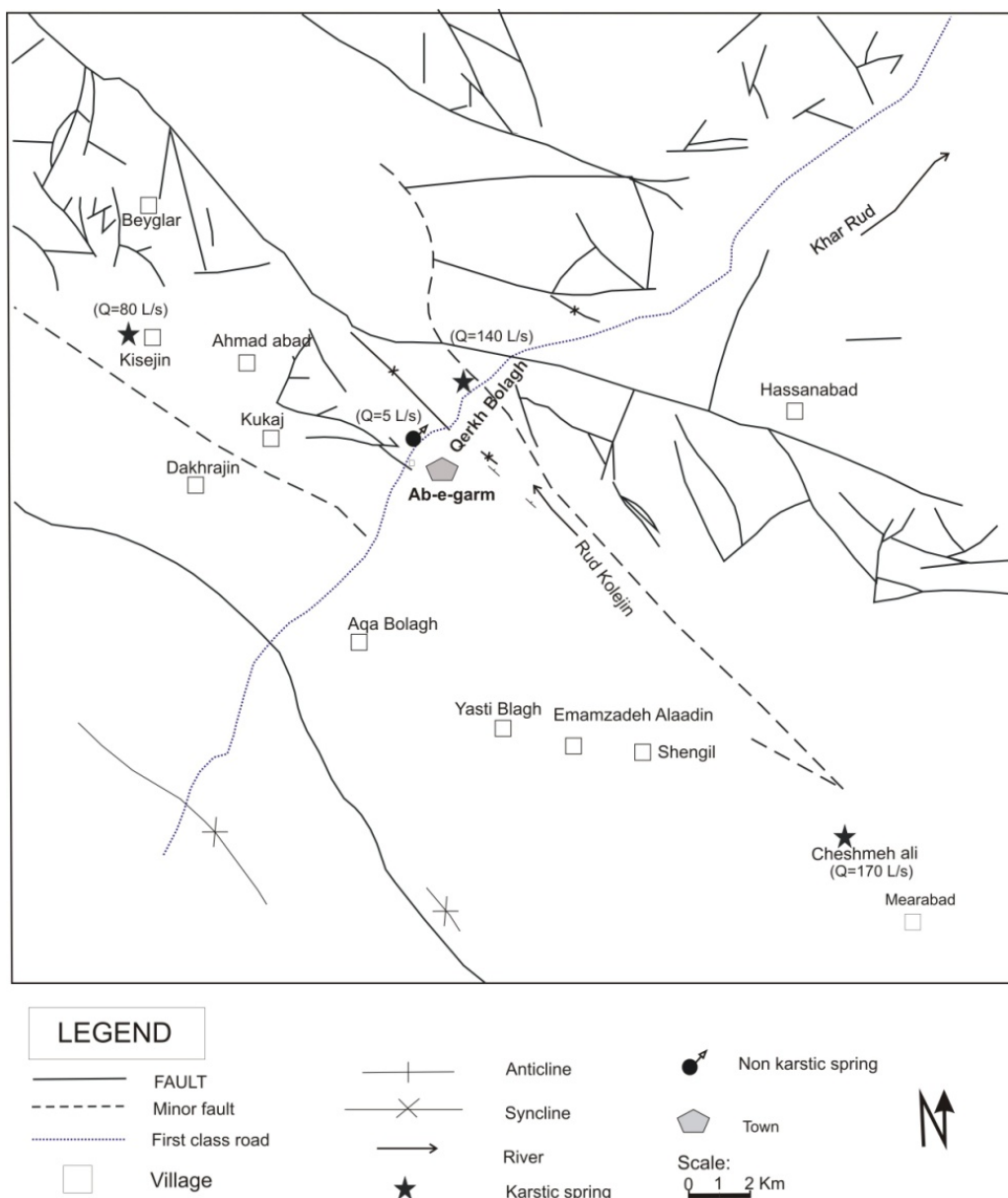
سازند لالون با گسترش محدود متشکل از ماسه سنگ‌هایی با سیمان سیلیسی است. به علت نوع سیمان و عدم توسعه درز و شکاف در توده سنگ‌ها، قدرت آبدهی ضعیفی دارد. لایه‌های تاپ کوارتزیت نیز با گسترش بسیار کم، و به دلیل ترکیب سنگ شناختی و شکستگی و خردشدگی کم، دارای هدایت هیدرولیکی ضعیف و پتانسیل آبی ناچیزی می‌باشند. سازند دورود تناوبی از شیل و ماسه سنگ است. نفوذپذیری این سازند به علت بالابودن نسبت شیل به ماسه سنگ به صورت قابل توجهی کاهش یافته و میزان آبدهی کمی دارد. سازند شمشک نیز تناوبی از شیل و ماسه سنگ است. درز و شکاف‌های موجود در آن گسترش محدود دارند، به این دلیل آبدهی کمی دارد. سازند قرمز تحتانی متشکل از



شکل ۲. نقشه زمین شناسی و توالی چینه نگاری محدوده مورد مطالعه (Bolourchi, 1978)

سازندها گسله می‌باشد. گسل آوج در قسمت جنوبی ناحیه با مؤلفه راستگرد باعث راندگی اسلیت‌های ژوراسیک بر روی سنگ‌های جوان شده‌است. گسل حسن آباد در قسمت شمالی منطقه با مؤلفه چپ گرد عمل نموده است. چین خوردگی‌های موجود در این زون نیز هم روند با امتداد گسل‌های اصلی هستند. موقعیت گسل‌های اصلی در شکل ۳ نشان داده شده است.

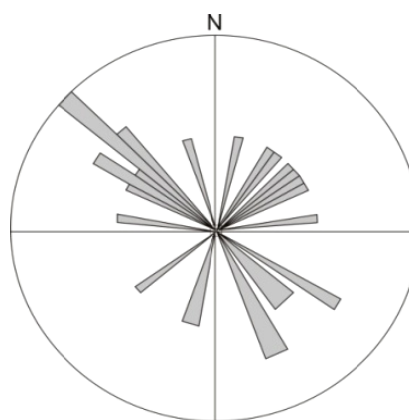
منطقه مورد مطالعه از نظر ساختاری بین زون‌های ایران مرکزی و سندج- سیرجان قرار گرفته و ناحیه آبگرم وابسته به زون ایران مرکزی است. این ناحیه بین دو گسل اصلی یکی در شمال به نام گسل حسن‌آباد و دیگری در جنوب به نام گسل آوج قرار دارد. امتداد اصلی این گسل‌ها NW-SE است. گسل‌های مذکور باعث ایجاد گسل‌های فرعی و شکستگی شدید در منطقه شده‌اند به صورتی که همبندی اکثر



شکل ۳. نقشه گسل‌های موجود و موقعیت چشمه‌های انتخابی در محدوده مورد مطالعه

(Geological and Mineral Survey of Iran, 1976)

مطالعات صحرائی بر روی ناپیوستگی‌های سنگ آهک‌های سازند قم در شمال شهر آبگرم نشان دهنده وجود سه دسته درزه اصلی در منطقه است. سیستم درزه غالب هم‌امتداد با گسل‌های اصلی ناحیه است. نتایج حاصل از مطالعات بر روی بیش از ۱۲۰ درزه در نمودار گل‌سرخ‌ی شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴. دیاگرام گل‌سرخ‌ی ۱۲۰ درزه برداشت شده از سنگ آهک‌های سازند قم در ناحیه شمال آبگرم قزوین

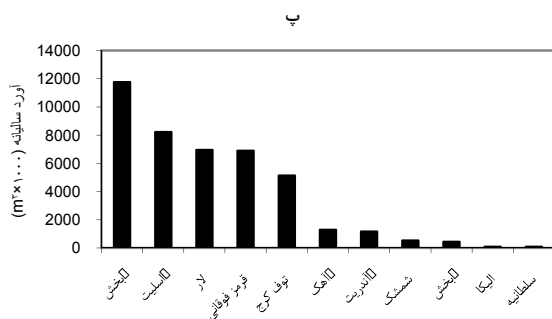
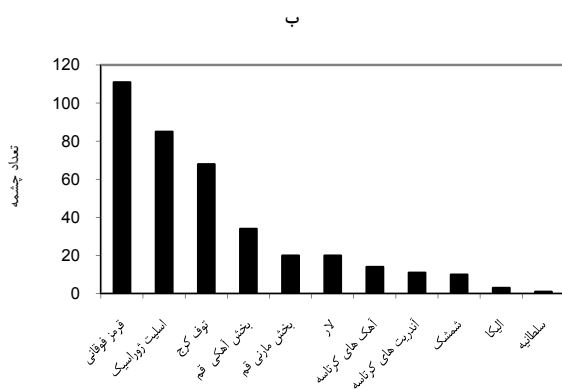
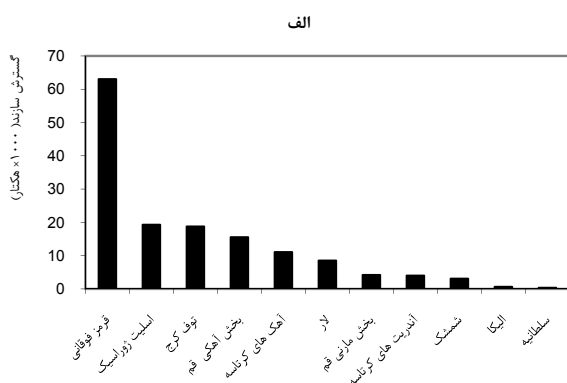
### ۵. چشمه‌ها

چشمه‌ها مهم‌ترین زهکش‌های طبیعی هستند. بر اساس مطالعات صورت‌گرفته در سازندهای سخت حوضه آبریز خررود مشخصات ۳۶۹ چشمه که از سازندهای موجود در منطقه آوج-آبگرم منشأ گرفته‌اند، در جدول ۱ ارائه شده است (وزارت نیرو، ۱۳۷۹).

بر اساس شکل ۲، در شکل ۵- الف گسترش سطحی هر سازند در محدوده مورد مطالعه، در شکل ۵- ب تعداد چشمه‌ها در هر سازند و در شکل ۵- پ ارتباط بین نوع سازند و میزان تخلیه سالیانه در منطقه آوج-آبگرم نشان داده شده است. میزان آبدهی چشمه‌های موجود در سازند قرمز فوقانی علی‌رغم تعداد بیشتر چشمه‌ها در مقایسه با بخش آهکی سازند قم، اسلیت‌های ژوراسیک و سازند لار کمتر می‌باشد. دلیل این کاهش آبدهی، لیتولوژی سازند مذکور است که تناوبی از ماسه سنگ، مارن و کنگلومرا با نفوذپذیری متوسط تا پایین را شامل می‌گردد.

جدول ۱. تعداد و مشخصات چشمه‌های موجود در منطقه آوج-آبگرم به تفکیک نوع سازند

تخلیه سالیانه (m3)	متوسط آبدهی (Lit/s)	حداکثر آبدهی (Lit/s)	نوع چشمه بر اساس ساز و کار				تعداد چشمه	نام سازند
			کارستی	نشئی	درز و شکافی	تماسی		
۶۹۰۱۴۰۲	۲/۳	۱۵		۸۱	۱۳		۹۴	قرمز فوقانی
۴۴۴۶۵۸	۱	۲			۲۰		۲۰	بخش مارنی و سازند قم
۱۴۱۹۱۲	۱/۱	۲			۴		۴	بخش آذرین سازند قم
۱۱۷۶۲۹۲۸	۱۱	۱۴۰	۱۱	۲	۲۱		۳۴	بخش آهکی سازند قم
۴۷۳۰۴	۰/۸	۱/۲			۵		۵	بخش آندزیتی سازند کرج
۵۱۴۳۵۲۱	۲/۷	۴۴		۱۶	۵۰	۲	۶۸	توف کرج
۱۱۶۶۸۳۲	۳/۳	۶			۱۱		۱۱	آندریت‌های کرتاسه
۱۲۹۲۹۷۶	۳/۲	۱۰	۶		۷	۱	۱۴	آهک‌های کرتاسه
۶۹۵۳۶۸۸	۱۱	۱۷۰	۶		۱۳	۱	۲۰	لار
۵۳۶۱۱۲	۱/۹	۵		۴	۶		۱۰	شمشک
۹۴۶۰۸	۱	۱			۳		۳	الیکا
۹۴۶۰۸	۳		۱				۱	دولومیت سلطانیه
۸۲۲۱۴۳۴	۳	۲۸		۶	۷۲	۷	۸۵	اسلیت ژوراسیک



**شکل ۵. الف-** نمودار گسترش سازندها در منطقه آوج-آبگرم،  
**ب-** نمودار تعداد چشمه‌های موجود در منطقه به تفکیک سازندها، **پ-** آورد سالانه چشمه‌های منطقه آوج-آبگرم به تفکیک سازندها

**جدول ۲. آنالیز شیمیایی دو نمونه از سنگ آهک‌های سازند قم در معدن سنگ آهک شمال خاوری آبگرم (پایگاه داده‌های علوم زمین)**

Sample	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%CaO	%MgO	%MnO	%CO <sub>2</sub>
1	1.74	0.88	0.12	53.5	0.68	0	41.52
2	0.48	0.16	0.28	53.4	0	1.23	40.23

بخش‌های آهکی سازندهای قم و لار با وجود اینکه گسترش سطحی کمتری نسبت به سازند قرمز فوقانی، توف‌های کرج و اسلیت‌های ژوراسیک دارند ولی میزان تخلیه سالانه آن‌ها بالاترین مقدار را دارا می‌باشد. آورد سالانه چشمه‌های موجود در بخش آهکی سازند قم، در حدود ۱۲ میلیون مترمکعب و سازند لار به ۷ میلیون مترمکعب در سال بالغ می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۷۹). فراوانی و گسترش ناپیوستگی‌ها، استعداد بالای انحلال‌پذیری سنگ‌های کربناته، توسعه فرایند کارستی شدن و در نتیجه وجود آبخوان‌های کارستی در این سازندها دلیل اصلی افزایش آبدهی است. گسترش سطحی اسلیت‌های ژوراسیک و توف‌های کرج در منطقه آوج-آبگرم قابل ملاحظه و تقریباً برابر است. ولی میزان تخلیه سالانه چشمه‌های موجود در اسلیت‌ها حدود دو برابر چشمه‌های موجود در توف‌های کرج می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۷۹). خردشدگی و تکتونیزه شدن شدید و گسترش درز و شکاف بیشتر در اسلیت‌ها، نسبت به توف‌ها دلیل اصلی اختلاف در میزان آبدهی این دو سازند است.

## ۶. پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست

بر اساس پیمایش صحرایی صورت گرفته در منطقه، موضوع کارستی شدن سازندهای قم و لار و نیز سنگ آهک‌های کرتاسه بررسی شده است. با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی دو نمونه از سنگ آهک‌های سازند قم و با توجه به کمبود و یا نبود اکسید منیزیم در ترکیب شیمیایی نمونه‌ها (جدول ۲) و نیز توسعه شکستگی، شرایط برای گسترش کارست در این سازند مهیا بوده و پدیده‌های کارستی متنوعی شکل گرفته‌اند که می‌توان به وجود ۴ دهنه غار با ابعاد بزرگ به نام‌های شهباز، قلعه، سلطان‌بلاغ، آبگرم و نیز چشمه‌های کارستی با آبدهی زیاد اشاره نمود.

## ۱-۶. چشمه‌های کارستی

## ۱-۱-۶. چشمه قرخ بلاغ

این چشمه که در روستای قرخ بلاغ واقع شده از سازند آهکی قم خارج می‌شود، دبی آن در زمان آمار برداری ۱۴۰ لیتر در ثانیه بوده است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که گسترش پیوسته سازند قم با امتداد شمال غرب- جنوب شرق به طول تقریبی ۳۵ کیلومتر در شمال غربی این چشمه و کارستی بودن سنگ آهک‌های قم در این ناحیه دلیل عمده وجود این چشمه است. چشمه مذکور در منتهی‌الیه یال شمالی و نزدیک هسته ناودیسی با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی واقع شده است. آبدهی چشمه در چند سال اخیر به دلیل کاهش نزولات جوی به طور محسوسی کم شده است.

## ۲-۱-۶. چشمه خاتون بلاغی

این چشمه که در فاصله یک کیلومتری غرب روستای کیسه‌جین کنار جاده آسفالت‌ه اردلان واقع شده از سازند قم خارج می‌شود و آبدهی آن در دهانه چشمه حدود ۱۰۰ لیتر در ثانیه اندازه‌گیری شده است. نحوه پیدایش این چشمه شباهت زیادی با چشمه قرخ بلاغ دارد. چشمه مذکور در منتهی‌الیه جنوب شرقی رخنمون سازند قم واقع شده و هم‌جواری آن با سازند لار احتمال تغذیه از طریق سازند لار را نیز افزایش می‌دهد. زیرا که وسعت سازند قم در این ناحیه آنقدر نیست که بتواند چشمه‌هایی با آبدهی بیش از ۱۰۰ لیتر در ثانیه را تغذیه نماید و احتمال زیادی وجود دارد که از نظر هیدروژئولوژیکی با سازند لار در ارتباط باشد.

## ۳-۱-۶. چشمه علی

این چشمه بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین چشمه منطقه آوج می‌باشد و آبدهی آن در زمان آماربرداری (اسفندماه ۸۷) ۱۷۰ لیتر در ثانیه اندازه‌گیری شده است. در سالیان گذشته آبدهی بیش از ۲۰۰ لیتر در ثانیه نیز از این چشمه گزارش گردیده است. چشمه علی از سازند لار خارج می‌شود ولی با

توجه به وسعت بسیار کم و محدود سازند لار در منطقه، دلیل بالا بودن آبدهی این چشمه به مطالعه بیشتری نیاز دارد.

## ۴-۱-۶. چشمه دریابک

این چشمه در حدود ۷۰۰ متری شمال روستای پراسپانج و در شرق آوج واقع شده است. دبی آن حدود ۳۰ لیتر در ثانیه می‌باشد، چشمه مذکور از نوع تحت فشار (آرتزین) بوده و از سازند قم می‌جوشد. چشمه دریابک در اطراف خود مساحتی بالغ بر ۱۰ هکتار سنگ‌های تراورتن رسوب داده است. چشمه‌های پر آب و مهم دیگری نیز در منطقه وجود دارد که غالباً کارستی هستند مانند چشمه شهباز، چشمه قلعه (علی بلاغی)، چشمه شرشر بلاغ روستای وروق و آق بلاغ که از سازندهای لار و قم خارج می‌شوند.

## ۲-۶. هیدروژئوشیمی چشمه‌های کارستی

از منابع آبی چشمه‌های انتخابی منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری و با استفاده از روش پیشنهادی APHA, 1971 آنالیز شیمیایی به عمل آمد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی آب چشمه‌های انتخابی، تیپ و رخساره آب چشمه کیسه‌جین و چشمه علی بی‌کربنات سدیک و چشمه دریابک، بیکربنات کلسیک و چشمه معدنی آبگرم و قرخ بلاغ کلرورسدیک می‌باشد. همچنین با توجه به انطباق نتایج آنالیز این چشمه‌ها بر روی نمودار پایپر (شکل ۶) نقاط مربوط به کیفیت شیمیایی آب چشمه‌های کیسه‌جین، دریابک و چشمه علی دارای تمرکزی در وسط نمودار و در کیفیت چشمه معدنی آبگرم و قرخ بلاغ در سمت راست و در دو موقعیت جداگانه قرار می‌گیرد. بر این اساس سه منشأ را می‌توان برای آب این چشمه‌ها در نظر گرفت (Hiscock, 2007).

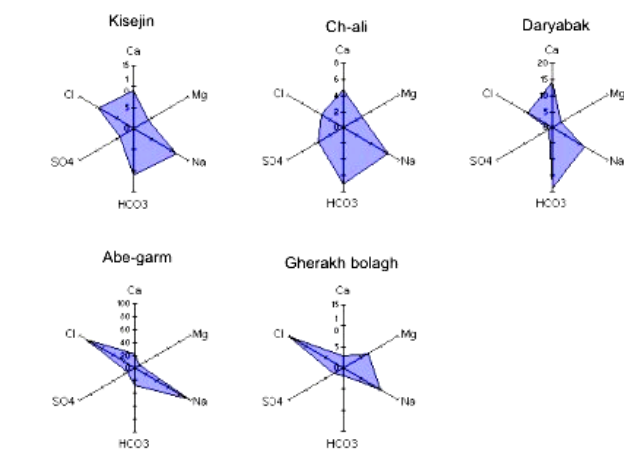
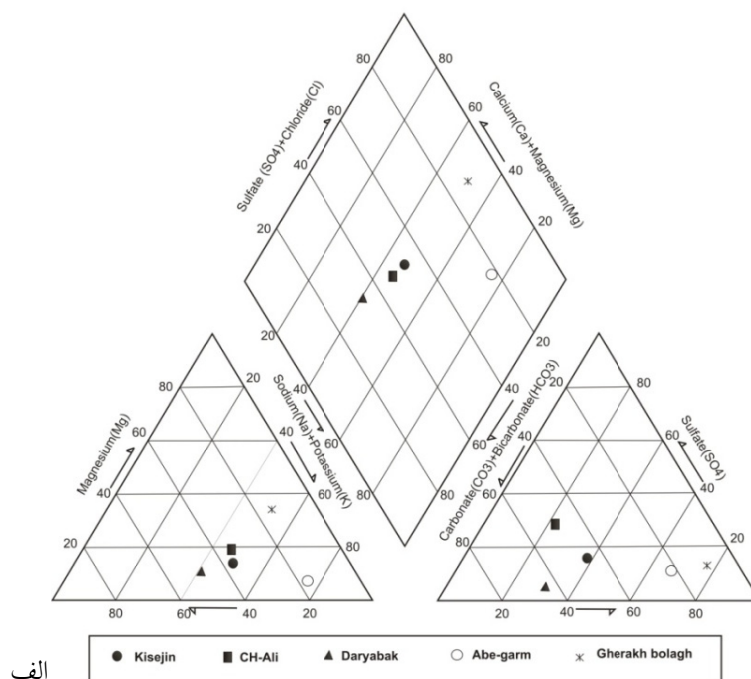
آب چشمه‌های کیسه‌جین و دریابک از سازند قم و چشمه علی از سازند کارستی لار تأمین می‌شوند. این چشمه‌ها تحت تأثیر نفوذ آب‌های سطحی موجود در سازند قرمز فوقانی قرار دارند.



جدول ۳. نتایج آنالیز شیمیایی آب چشمه‌های انتخابی منطقه (غلظت‌ها بر حسب میلی اکی والان گرم بر لیتر می‌باشد).

محل نمونه‌برداری	نام سازند	Q(L/s)	EC (µm/cm)	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	دما (°C)
کیسه جین	قم	80	2220	6.95	8.9	3.8	11.39	0.11	11	0	9.6	3.9	14
چشمه علی	لار	170	1320	7.56	4.8	2.7	6.26	0.09	7	0	3.1	3.55	13
دریابک	قم	30	2520	6.9	14.4	2.9	11.45	0.26	18.9	0	8.8	1.11	19
آبگرم	سنگ آهک کرتاسه	5	12100	6.5	21.8	8.2	95.21	2.87	27.5	0	88.8	12.8	35
قرخ بلاغ	قم	140	1936	7.9	2.84	6.56	9.66	0.15	1.76	0	14.78	2.58	13

Piper Diagram Of Abe-garm Studies Boundary



شکل ۶. الف) نمودار پایپر ب) نمودار استیف برای چشمه‌های انتخابی موجود در منطقه با استفاده از نرم‌افزار Chemistry

جمله گسل آوج و نیز وجود تعدادی از چشمه‌های با آبدهی زیاد (با آبدهی بین ۲۵ الی ۱۸۰ لیتر در ثانیه، شامل چشمه‌علی، قرخ بلاغ، پرسپانچ، ساگران علیا، احمدآباد، کیسه‌جین و لک) در راستای شکستگی‌های غالب ناحیه، جهت عمومی جریان از شمال غرب به طرف جنوب شرق بوده و پدیده کارستی شدن به طور عمده نیز در همین جهت صورت گرفته است. ولی با توجه به گستردگی منطقه و طبیعت ویژه محیط آبدار در سازندهای سخت و کارستیک، که بر خلاف آبرفت‌ها ایزوتروپ و همگن نمی‌باشند تعیین مسیرهای حرکت آب، مستلزم انجام مطالعات بیشتری است (Silar, 1988).

#### ۷. بحث و نتیجه گیری

با توجه به مطالعات انجام شده و بر اساس نحوه گسترش سازندها و شرایط لیتولوژیکی آنها، سازندهای قم و لار به عنوان منابع اصلی تغذیه چشمه‌های منطقه شناسایی شده‌اند. سازند قم که بخش زیادی از منطقه مورد مطالعه را پوشش داده است دارای وضعیت مناسبی جهت نفوذ و انتقال آب می‌باشد. آهک‌های ضخیم لایه سازند قم دارای درز و شکاف‌ها، حفرات، و دالان‌های انحلالی فراوانی است. وجود چشمه‌های کارستی متعدد در این سنگ‌آهک‌ها استعداد فراوان ذخیره‌سازی آب را نشان می‌دهد. چشمه‌های قرخ بلاغ (۱۴۰ لیتر در ثانیه)، کیسه جین (۸۰ لیتر در ثانیه)، شهباز (۳۰ لیتر در ثانیه)، شرشر بلاغ (۱۵ لیتر در ثانیه)، دریابک (۳۰ لیتر در ثانیه) و بسیاری از چشمه‌های نسبتاً پر آب منطقه از این سازند سرچشمه گرفته‌اند. بررسی‌های صحرایی انجام شده بر روی چشمه‌های با آبدهی زیاد در منطقه آبگرم، نشان می‌دهد که جهت حرکت آب در این سازند تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی، یعنی شمال غرب به جنوب شرق است و امتداد درزه‌های غالب نیز در همین راستا می‌باشد بنابراین بایستی انتظار داشت که چشمه‌ها در منتهی‌الیه جنوب شرق این سازند دیده شوند که دقیقاً در مورد چشمه‌های پرآب مانند قرخ بلاغ، خاتون بلاغی و شرشر بلاغ و بسیاری چشمه‌های دیگر روند عمومی در این راستا است.

آب چشمه‌های معدنی آبگرم که از واحدهای کربناته کرتاسه خارج می‌شوند. احتمالاً منشاء هیدروترمالی دارند. آب چشمه قرخ بلاغ که در شرق چشمه‌های معدنی آبگرم و در فاصله ۴ کیلومتری از آنها قرار گرفته احتمالاً تحت تأثیر پدیده اختلاط آب‌هایی با منشاء هیدروترمالی می‌باشد. مقایسه دبی چشمه‌های اندازه‌گیری شده نشان دهنده نقش تکنونیک و توسعه کارست بر میزان آبدهی آنها است. دلیل بالا بودن میزان دبی چشمه‌علی، شکستگی‌های بسیار زیاد در سازند کربناته لار و علت بالا بودن دبی خروجی چشمه قرخ بلاغ به دلیل توسعه کارست در محل این چشمه در ضخامت قابل توجه سازند قم (حدود ۱۰۰۰ متر) است.

دبی چشمه‌هایی که از سنگ آهک‌های کرتاسه خارج می‌شوند، به دلیل توسعه شکستگی کم و شرایط لیتولوژیکی واحدهای کرتاسه بسیار پایین تر از سایر چشمه‌های کارستی است.

#### ۳-۶. جهت حرکت عمومی آب

سفره‌های آبدار کارستی غالباً جریان متمرکز خود را به یک چشمه بزرگ تخلیه می‌کنند. جهت حرکت آب تابع گرادیان هیدرولیکی حداکثر و الگوی سیستم‌های شکستگی و ساختار زمین‌شناختی موجود در سنگ است (Gunay, 2006). رژیم حرکت در یک سفره کارستی به سه نوع افشان، مجرای و مرکب دسته‌بندی می‌شود (Hiscock, 2007). مطابق بررسی‌های انجام شده، میزان بازشدگی درزه‌های غالب در سازند لار و قم، بیش از ۱ سانتی‌متر و به طور متوسط بین ۳-۵ سانتی‌متر می‌باشد. به دلیل تأثیر تنش‌های تکتونیک و توسعه شکستگی‌ها و مناسب بودن ترکیب سنگ‌شناختی به خصوص در سازند قم، شرایط برای توسعه مجاری کارستی فراهم شده و رژیم مجرای، بعنوان رژیم غالب در این دو سازند معرفی گردیده است.

در حال حاضر با توجه به مشاهدات صحرایی و بر اساس چگونگی گسترش سازندها، شیب و امتداد لایه‌ها، ساختمان‌های تکتونیک منطقه، شیب و امتداد ناپیوستگی‌ها از

می‌شود. به این ترتیب می‌توان انتظار داشت که غالب بارندگی‌ها در آن نفوذ نموده و ذخیره شوند و در نهایت از طریق چشمه‌های بزرگ به سطح زمین راه پیدا کنند.

سازند لار از نظر تشکیل آبخوان در منطقه آوج دومین جایگاه را دارد. گرچه گسترش آثار انحلالی در آن مانند سازند قم نیست ولی وجود شکستگی‌های فراوان با بازشدگی‌های زیاد این سازند را به سنگ مخزن مناسبی تبدیل کرده است. بزرگ‌ترین چشمه کارستی منطقه به نام چشمه علی با دبی بیش از ۱۷۰ لیتر در ثانیه از این سازند خارج می‌شود. ضخامت این سازند در منطقه آوج به حدود ۳۰۰ متر می‌رسد. در مرز بین این سازند و سازند شمشک در شمال منطقه مورد مطالعه چشمه‌هایی مانند چشمه‌های شمال روستای بیگلر و شمال روستای احمدآباد و کیسه‌جین و ... وجود دارند که آبخوان اصلی آن‌ها در سازند لار است و عمده این چشمه‌ها از نوع درز و شکافی هستند. بالا بودن هدایت الکتریکی آب چشمه‌علی در این منطقه ممکن است به اختلاط آب این سازند با آب موجود در سازندهای قرمز فوقانی و سازند قم مربوط باشد.

چشمه‌های معدنی آبگرم که متوسط دمای آن‌ها بالای ۳۵ درجه است، دارای تیپ کلرو سدیک می‌باشند و هدایت الکتریکی بسیار بالایی دارند که از آهک‌های کرتاسه سرچشمه می‌گیرند. در خصوص منشأ آب این چشمه‌ها، نیاز به مطالعات ایزوتوپ پایدار است. به نظر می‌رسد این آب‌ها تحت نفوذ شورابه‌های عمقی بالارونده‌ای قرار دارند که دارای منشأ هیدروترمالی هستند.

نتایج آنالیز شیمیایی آب چشمه‌های کارستی در این سازند نشان می‌دهد که تیپ آب از نوع بی‌کربناته سدیک و کلروسدیک است. البته بالا بودن میزان هدایت الکتریکی و میزان سدیم آب در چشمه‌های بیکربناته سدیک می‌تواند به این دلیل باشد که سنگ آهک‌های ضخیم لایه قم که ضخامت و گسترش قابل توجهی در منطقه دارند، غالباً توسط سازند قرمز فوقانی با لیتولوژی ماسه‌سنگ، گل‌سنگ، توف و کنگلومرا با میان لایه‌های تبخیری پوشیده شده‌اند (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۲). از طرفی سازند قرمز فوقانی نیز دارای آبخوان مناسبی است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که بین این دو سازند تبادل و انتقال آب وجود داشته باشد. در برخی نقاط چشمه‌های موجود در سازند قرمز فوقانی از سازند قم سرچشمه می‌گیرد و برعکس آن نیز احتمالاً صادق خواهد بود. اما به علت وجود میان لایه‌های تبخیری گچ و نمک در بین نهشته‌های سازند قرمز فوقانی (شکل ۲) این تبادلات آبی باعث اختلاط آب‌ها می‌گردد مانند چشمه کارستی دریابک که به دلیل تماس با این سازند، آب آن کمی شور می‌باشد. در خصوص چشمه‌های کلرو سدیک سازند قم، اختلاط آب این سازند با آب‌های هیدروترمالی محتمل است.

ترکیب شیمیایی مناسب بخش آهکی سازند قم و بالا بودن میزان اکسید کلسیم و پایین بودن درصد اکسید منیزیم در این بخش با توجه به توسعه شکستگی‌ها شرایطی مناسب برای توسعه کارست فراهم آمده است. بنابراین در محل‌هایی که این سازند توسط سازندهای نفوذپذیر پوشیده شده، آب در امتداد ناپیوستگی‌های فاقد مواد پرکننده، به این سازند هدایت

## منابع

- پایگاه داده‌های علوم زمین سازمان زمین شناسی کشور [www.ngdir.com](http://www.ngdir.com)
- سلطانی، م.، توکلی صبور، ا.، صادقی ناد، ع.، ۱۳۸۳. بارزسازی توده‌های ژئوپس منطقه شمال آوج با استفاده از پردازش و تفسیر داده‌های ماهواره‌ای. بیست و دومین گردهمایی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- قبادی، م.ح.، ۱۳۸۸. زمین شناسی مهندسی کارست. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان، چاپ دوم.
- وزارت نیرو، سازمان آب منطقه ای تهران، معاونت مطالعات و پژوهش منابع آب، ۱۳۷۹. گزارش شناسایی سازندهای سخت حوضه آبریز خررود.
- American Public Health Association (APHA), 1971. Standard methods for the examination of water and wastewater. New York.

- 
- Bolourchi, M.H., 1978. Geological map ``Avaj`` (sheet : 5861), Geological survey of Iran.
- Ford, D.C., Williams, P.W., 1989. Karst Geomorphology and Hydrology. Unwin Hyman.
- Geological and Mineral Survey of Iran, 1976. Explanatory Text of the Kabudar Ahang Quadrangle Map. scale 1:250,000. No.D5, Tehran, Iran.
- Gunay, G., 2006, Hydrology and hydrogeology of Sakaryabasi Karstic springs, Cifteler, Turkey. Environ Geology 51: 229-240.
- Hiscock, K.M., 2007, Hydrogeology: Principles and Practice. Blackwell Publishing.
- Silar, J., 1988. The evolution of karst and its practical significant in hydrogeological investigation. 21<sup>st</sup> congress karst hydrogeology and karst environment protection, Guilin.China, pp. 264-297.