

ارتباط بین فروچاله‌های دشت فامنین - کبودرآهنگ - قهاوند

با سنگ کف منطقه

نوشته: منوچهر امیری*

Relationship between Sinkholes of Famenin - Kabudrahang-Ghahavand Plain and the Bed Rock of the Area

By: M. Amiri*

چکیده

دشت فامنین - قهاوند - کبودرآهنگ در شمال استان همدان واقع شده و ضخامت رسوبات سفره آبدار آن به حدود ۱۰۰-۷۰ متر می‌رسد که بهره برداری از آن بیش از ظرفیت سفره بوده و سالانه حدود ۳-۲/۵ متر افت در سطح آب این سفره وجود دارد. در طی ده سال اخیر، دست کم حدود ۱۹ فروچاله (Sinkhole) کوچک و بزرگ در سطح دشت به وجود آمده که سبب نگرانی ساکنان دشت گردیده است. در این تحقیق، پس از پیمایشها و اندازه‌گیریهای صحرائی، تجزیه نمونه‌ها و برآورد میزان دی‌اکسید کربن آزاد (Free carbon dioxide) انجام گرفته و مشخصات فروچاله‌ها شناسایی و ثبت شده است. از نتایج حاصل مشخص گردید که شرایط ویژه در سنگ بستر آهکی و وجود دی‌اکسید کربن بیشتر از ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، عامل اصلی توسعه کارست در منطقه است. همچنین وجود حفره‌های انحلالی بزرگ، مجاری آب، سیستم درز و شکاف وسیع در سنگ بسترو پمپاژ آب موجود در آنها عامل اصلی ایجاد فروچاله‌های منطقه بوده و عواملی چون ماسه‌شویی لایه‌ها، خروج گاز از چاهها و افت سریع سطح آب زیرزمینی در تسریع وقوع فروچاله‌های منطقه دخیل هستند. لذا برای جلوگیری از این پدیده، باید اولاً از کف شکنی و حفاری در سنگ بستر خودداری شود. و دوم این که برای جلوگیری از ماسه‌شویی چاههای آب باید از گراول پک (Gravel pack) مناسب استفاده شود و سوم این که همه چاههایی که در سنگ بستر حفاری شده و آبدهی بالایی دارند، تعطیل شوند.

کلیدواژه‌ها: کبودرآهنگ، فامنین، همدان، قهاوند، فروچاله، کارست، سنگ بستر، آب زیر زمینی، دی‌اکسید کربن آزاد، فرونشست.

Abstract

Famenin-Ghahavand- Kaboudrahang plain is located in the north of Hamedan province in Iran. The thickness of aquifer in the area is about 70-100 meters and its exploitation has been more than aquifer capacity. Annual falling of water table is about 2.5-3m. At least 19 small and large sinkholes have been formed in the plain during the past 10 years and this is a problem for inhabitants of the area. In this study, field investigation, analysis of water samples and calculation of free carbon dioxide were carried out and the characteristic features of the sinkholes recorded. Results show that the presence of specific conditions of limy bedrock and high amount of free carbon dioxide (more than 1500 mg/l) in groundwater are the main causes for the development of karst in the area. Furthermore, the presence of large holes, water channels, joints and fracture systems in the bedrock and water pumping are the main sources for the creation of sinkholes, whereas other factors such as sand-washing of layers, gas release from wells and fast falling of water table are minor effective causes. Therefore, to stop this phenomenon, drilling in bed rock should be prevented, suitable gravel pack should be used and all wells with high water yield form bedrock should be filled.

Keywords: Kaboudrahang, Famenin, Hamedan, Ghahavand, Sinkhole, Karst, Bedrock Groundwater, Free carbon dioxide, Subsidence.

یک سفره آب زیر زمینی، به شدت مورد بهره برداری قرار گرفته است.

به علت کاهش آبدهی، در سالهای اخیر کف شکنی و حفاری در سنگ بستر

برخی از چاههای آب منطقه صورت گرفته و به دنبال آن فروچاله‌های

مقدمه

دشت فامنین - قهاوند - کبودرآهنگ بخشی از حوضه قره‌چای، در

شمال استان همدان است، که دارای تراکم جمعیتی بالایی بوده و به عنوان

در سال برآورد کرده و عامل اصلی تشکیل این فروچاله‌ها را افت شدید سطح آب دانسته و برای تأیید آن اظهار کرده که محل تشکیل فروچاله‌ها، بر محل تلاقی مخروط افت چاهها واقع است (۹). حیدری (۱۳۸۲) با بررسی میکروسکوپی مقاطع نازک و آزمایش انحلال پذیری توسط دستگاه سیرکولاسیون، میزان تخلخل و میانگین ثابت سرعت انحلال سنگهای کربناتی منطقه مورد مطالعه را حدود $10^{-4} \times 1/28$ m/s برآورد و اظهار کرده که این سنگها توان بالایی برای انحلال پذیری دارند (۶). اکبرزاده خویی (۱۳۷۴) با بررسی محدوده غار علیصدر در بخش باختری دشت، بیان می‌کند که هیچ پدیده کارستی سطحی و مشخصی دیده نمی‌شود ولی در درون غار، نشانه‌های زیر سطحی متعددی همچون استالاکتیت، استالاکتیت و پلانته مشاهده می‌گردد (۲). سعادت و محمدی (۱۳۸۲) با مطالعه زمین ساخت منطقه فروچاله‌های همدان بیان داشته که پراکندگی گودالهای فرونشینی بی‌نظم نبوده بلکه با محور عبور گسلهای منطقه همخوانی دارد و از روند آنها تبعیت می‌کنند (۷). هاشمی (۱۳۸۱) با بررسی نمودارهای حفاری در پیزومترهای اکتشافی و چاههای بهره برداری، ضخامت آبرفت روی سنگ بستر را بین ۱۰ تا ۱۵۰ متر برآورد کرده است (۱۱). Seibt et al. (2000) در مقاله خویش درباره استفاده از انرژی زمین گرمایی آبهای سازندهای تریاس و ژوراسیک آلمان اظهار کرده که حدود ۳ تا ۱۰ درصد حجمی آبهای منطقه از گاز تشکیل شده که بیش از ۵۷ تا ۹۴ درصد آن گاز دی‌اکسید کربن است (۱۵). امیری (۱۳۷۴) سازندهای آلموغلاق در مجاور مناطق گازدار چهاردولی را مورد مطالعه قرار داده و با استناد به وجود کانیهای اسکورلیت، پستاسیت، پرهنیت، ولستونیت و ...، نتایج تجزیه عناصر کمیاب اظهار می‌دارد که فازهای پنوماتولیتی و گرمابی متعدد و غنی از آهن به سیستم خاک، آب و سنگ منطقه وارد شده است. به عقیده وی وجود بقایای چشمه‌های آبگرم و تراورتهای منطقه دینگله کهریز و تراورتهای قروه، کانیهای گالن در برخی نقاط پیرامون منطقه فروچاله‌ها و وجود گاز در چاههای منطقه و مناطق پیرامون، نشانه فعالیت محلولهای پنوماتولیتی و گرمابی گازدار در زمان گذشته و حال است و بر اثر همین فعالیتها معادن آهن وسیعی در منطقه تشکیل گردیده است (۳ و ۴). همچنین نگاری (۱۳۱۹) با تجزیه آب پنج چشمه آب معدنی باباگرگر واقع در شمال دشت چهاردولی و باختر منطقه لالچین و تحلیل آنها وجود گاز دی‌اکسید کربن، سولفید هیدروژن و آمونیاک را در این چشمه‌ها شناسایی و گزارش کرده است (۱۰).

اصغری مقدم (۱۳۸۱) با بررسی چاههای آب دشت آذر شهر علت خوردگی تجهیزات درون چاهی منطقه را حضور دی‌اکسید کربن آزاد محلول در آب گزارش کرده است (۱). همچنین امیری (۱۳۸۱) در بررسی علت خوردگی تجهیزات مناطق گازدار استان همدان، با تجزیه شیمیایی

بزرگ و کوچکی در مجاورت این چاهها به وجود آمده است که ضمن خسارت به زمینهای کشاورزی و تهدید نیروگاه برق و دیگر تأسیسات، موجب نگرانی ساکنان منطقه و مسئولان استان گردیده است. تا سال ۱۳۷۹ حدود ۱۱ فروچاله در سطح دشت مذکور اتفاق افتاده است (۹) که تا تابستان ۱۳۸۲ تعداد آنها دست کم به ۱۹ مورد رسیده است. همچنین در مجاورت فروچاله‌ها ویا درفاصله‌های نه چندان دور واقع در سه منطقه چهاردولی، لالچین و فامنین - قهاوند، چاههای آبی وجود دارد که آب آنها تلخ یا گس، ترش و سوزنده و گاه گازدار است.

دی‌اکسید کربن با منشأ جوی درآب باران و آبهای سطحی و با منشأ گرمابی و پنوماتولیتی در آبهای زیرزمینی حل شده و محیط را اسیدی می‌کند و مهم‌ترین و اصلی‌ترین عامل انحلال سنگهای کربناتی به شمار می‌آید. دی‌اکسید کربن با منشأ جوی، برسنگهای آهکی اثر نموده و سبب ایجاد سیستم برون کارست می‌شود ولی به علت مقدار کم، بر سنگهای آهکی مدفون شده در زیر رسوبات اثر قابل ملاحظه‌ای ندارد و سیستم درون کارست توسط دی‌اکسید کربن با منشأ درونی حاصل می‌گردد (۵). مقدار دی‌اکسید کربن آزاد محلول در آبهای جوی اندک است و مقادیر بیشتر از ۱۰ میلی گرم بر لیتر و به‌ویژه اگر از ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر بیشتر باشد، ناشی از فعالیت فازهای پنوماتولیتی و گرمابی می‌باشد (۱۳ و ۱۶). شاخص اشباع و شاخص پایداری، دو شاخص مهم در تشخیص توانایی آب برای حمله به کربناتها و یا میزان اشباع آنها از یون کلسیم است. هنگامی که مقادیر این شاخصها به ترتیب مثبت و کمتر از شش باشد بدین معنی است که آب حاوی دی‌اکسید کربن به سنگ کربنات حمله کرده و خوردگی و انحلال به‌وقوع پیوسته و شرایط فوق اشباع برای یون کلسیم محلول در آب به‌وجود آمده است (۸). سنگهای کربناتی که ریزیلور و ضخیم لایه بوده و دارای سیستم درزوشکاف به‌همراه ناودیسهاو تاقدیسهای ملایم و میان لایه‌های رسی - ماری هستند، برای توسعه پدیده کارستی شدن بسیار مستعد هستند (۵).

در ناحیه اولاندو و ایالات متحده، دست کم ۱۴۰ فروچاله بین سالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۸۶ تشکیل شد (۱۸). بر اساس مطالعات انجام شده در منطقه آریزونا، فرونشستها به‌دو صورت سریع و آهسته اتفاق می‌افتند. حرکات آهسته در مناطق دانه ریز رسی که از حالت اشباع خارج شده و تحت نیروی وزن لایه تراکم می‌یابند به‌وجود آمده و حرکات سریع بیشتر در مناطقی با سنگ کف کارستی رخ داده و به‌عنوان فروچاله معروفند. در این سری مطالعات، از تخلیه آب زیر زمینی، استخراج گاز و نفت، حرکات سنگ در عملیات معدنی و زهکشی زمینهای لجنی و ماندابی، به‌عنوان عوامل اصلی وقوع فروچاله‌ها یاد شده است (۱۴ و ۱۷).

علیاری (۱۳۸۰) در مطالعه فروچاله‌های همدان با بررسی هیدروگراف واحد، میانگین تقریبی افت سطح آب را در یک دوره ۹ ساله حدود ۳ متر

$$pH_s = [0.1 \log(T.D.S) + C_1] - [\log(C_{ca} \times ALK) + (F^0 \times C_o)] \quad (1)$$

$$pH_s = [0.1 \log(T.D.S) + C_1] - [\log(C_{ca} \times ALK) + (F^0 \times C_o)] \quad (1)$$

$$SI = 2pH_s - pH_n \quad (3)$$

در معادلات فوق، پارامترهای $pH_n, F^0, ALK, C_{ca}, T.D.S$ به ترتیب باقیمانده خشک، غلظت کلسیم معادل کربناتی، قلیابیت کل، دما به فارنهایت، اسیدیته واقعی و اسیدیته اشباع را نشان می‌دهند. ضرایب C_1 و C_o در دماهای بیشتر از ۷۷ درجه فارنهایت به ترتیب برابر با ۰/۰۰۹۱۵ و ۲/۲۷ و در دماهای کمتر ۰/۰۱۴۲ و ۱۲/۶۵ است.

مشاهدات و نتایج

مشخصات فروچاله‌ها

از آنجا که شکل فروچاله‌ها، زمان وقوع آنها نسبت به زمان فعالیت چاههای کف شکنی شده، نوع چاهها و عمق حفاری اهمیت ویژه‌ای در شناسایی سازوکار و عوامل ایجاد کننده دارد، لذا این مشخصات به همراه ابعاد کلیه فروچاله‌هایی که در پیمایش‌های صحرایی شناسایی گردیده‌اند، در جدول ۲ ارائه شده و در شکل ۲ تصویر یکی از این فروچاله‌ها نشان داده شده است.

زمان رخداد فروچاله‌ها

تا زمانی که چاههای دشت کم عمق بودند و تنها لایه رسوبی منطقه را قطع کرده بودند، هیچ فروچاله‌ای به وجود نیامده بود. فروچاله‌های منطقه پس از کف شکنی چاهها و حفاری در سنگ بستر رخ دادند و اغلب آنها در حدود ۶ ماه تا چند سال پس از حفر چاههای کف شکنی شده به وجود آمده‌اند. بنابراین سن فروچاله‌ها جوان‌تر از چاههای کف شکنی شده و محدود به ده سال اخیر بوده و آخرین آنها در پاییز ۱۳۸۱ رخ داده است (فروچاله S₁₅).

شکل فروچاله‌ها

اغلب فروچاله‌های منطقه درمقاطع افقی، دایره‌ای شکل بوده که گویای ضخامت به نسبت زیاد رسوبات و خالی شدن آب از زیر لایه رسوبی توسط مجاری موجود در سنگ کف می‌باشد. البته گاه شکل بیضوی و... نیز مشاهده می‌گردد که حاکی از وجود شکافهایی در مرز سنگ کف و رسوبات است. شکل اغلب فروچاله‌هایی که تازه تشکیل شده‌اند، همانند یک مخروط ناقص بوده که قاعده آن رو به داخل زمین قرار گرفته است یعنی اگر از فروچاله‌ها در اعماق مختلف مقاطع افقی تهیه شود با افزایش عمق قطر دواير بیشتر می‌شود و این نشان می‌دهد که رسوبات به صورت کماتی و از زیر ریزش کرده‌اند. لایه‌های بالایی به علت دانه ریز بودن دارای چسبندگی بیشتری می‌باشند. با گذشت زمان و افزایش سن فروچاله‌ها، حاشیه آنها ریزش کرده و شکل استوانه‌ای به خود می‌گیرند.

آبهای منطقه وجود مقادیر بالای دی‌اکسیدکربن آزاد محلول، سولفات و آهن فریک در آب را از عوامل خورنده تجهیزات ذکر کرده است در این تحقیق، ضمن معرفی مشخصات فروچاله‌های منطقه به شرایط ویژه زمین شناسی و دیگر عوامل مؤثر در تشکیل فروچاله‌ها اشاره و راهکارهای مناسب برای کاهش رخداد آنها ارائه می‌شود. موقعیت جغرافیایی فروچاله‌های منطقه، در اطراف شهر فامنین در فاصله حدود ۷۰-۶۰ کیلومتری شهر همدان واقع شده‌اند. مختصات جغرافیایی فروچاله‌ها، چاههای گازدار (نمونه برداری شده) و چاههای کف شکنی شده‌ای که آب آنها در زمان وقوع فروچاله‌ها به شدت گل آلود شده توسط G.P.S برداشت و در جدول (۱) درج شده است همچنین موقعیت این فروچاله‌ها به همراه محدوده مناطق گازدار استان در نقشه شکل ۱ ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

برای شناسایی هر پدیده‌ای لازم است که اجزای تشکیل دهنده سیستمی که پدیده در آن به وجود آمده شناسایی گردد. لذا در این بررسی، ابتدا کارهای انجام شده قبلی جمع‌آوری و مطالعه گردید و سپس مشخصات رسوبات سفره آبدار و سنگ کف، ترکیب آب موجود در چاههای مجاور فروچاله‌ها، آبدهی و تغییرات چاهها، شکل و زمان فروچاله‌ها به عنوان اجزای تشکیل دهنده سیستم مورد توجه قرار گرفت. با کاوشهای دقیق صحرایی و تهیه مقاطع نازک وضعیت ضخامت، بافت و... رسوبات و انواع سنگها منطقه شناسایی گردید و سیستمهای درزوشکاف سنگ کف در بیرون زدگیهای پیرامون دشت توسط کمپاس اندازه‌گیری و نمودار گل سرخی آنها تهیه شد. همچنین شکل و ابعاد فروچاله‌ها با بررسیهای صحرایی تعیین شد و زمان حفاری چاههای کف شکنی شده، زمان وقوع فروچاله‌ها، آثار و نشانه‌های زمان وقوع با پرسش از روستاییان و حاضران در زمان وقوع و سایر منابع تعیین و شناسایی گردید. از چاههای گازدار سه منطقه فامنین - قهواند، لالچین و چهاردولی حدود ۱۶ نمونه آب برای اندازه‌گیری کاتیونها، آنیونها و سایر پارامترها تجزیه شدند. استفاده از مقادیر به دست آمده برای ترکیبهایی چون باقیمانده خشک، قلیابیت کربناتی، اسیدیته و دما و به کمک نمودارهای استاندارد (۱۶) مقادیر دی‌اکسیدکربن آزاد محلول در آبهای منطقه برآورد گردید و سپس به کمک جداول حلالیت گازها (۸) و به روش درون‌یابی، میزان فشار اولیه دی‌اکسیدکربن حاکم بر سیستم به دست آمد. همچنین با استفاده از روش محاسباتی (۸) طبق معادلات ۲، ۳ و ۴ شاخصهای اشباع (IS) و پایداری (SI) برآورد و محاسبه گردید. در نهایت با تحلیل داده‌های آزمایشگاهی، مشاهدات صحرایی، تقدم و تأخر فروچاله‌ها نسبت به چاههای کف شکنی شده و داده‌های محاسباتی، نحوه توسعه کارست درونی و عوامل و سازوکار تشکیل فروچاله‌ها شناسایی و راه‌حلهایی برای کاهش رخداد آنها ارائه گردیده است.

وضعیت ویژه زمین شناسی

منطقه مورد مطالعه در مرز زونهای سنندج - سیرجان و ایران مرکزی واقع شده است. که سنگ بستر و رسوبات سفره آبدار آن دارای ویژه گیهای منحصر به فردی بوده که به طور خلاصه وضعیت آنها تشریح می گردد.

الف) رسوبات آبرفتی

ضخامت رسوبات آبرفتی دشت، به طور میانگین حدود ۷۰-۱۰۰ متر است که در حوالی روستای همه کسی به حدود ۲۰ متر و در حوالی روستای جهان آباد به بیش از ۱۲۰ متر می رسد. بر اساس اطلاعات حاصل از حفاری، لایه سطحی از رس و سیلت تشکیل گردیده و پس از آن رسوبات شنی، ماسه‌ای و سیلتی تا عمق ۶۰ متری قرار گرفته و با افزایش عمق همین وضعیت تکرار می گردد و در عمق حدود ۱۰۰ متری، آهک و گاهی آهک مارنی به عنوان سنگ بستر ظاهر می شود. در بسیاری از نقاط و به ویژه در مناطقی که فروچاله‌ها اتفاق افتاده‌اند، لایه‌هایی از رسوبات ماسه‌دار وجود دارد که دانه‌های ماسه قابلیت خوبی برای حرکت و خروج از لایه‌ها توسط پمپاژ از خود نشان می دهند.

ب) سنگ بستر با مشخصات درون کارست

بر اساس حفاریها و بیرون زدگیهای موجود در مناطق شمال باختری دشت اورقین به سوی بابانظر و اطراف روستای همه کسی، سنگ بستر در محل فروچاله‌ها از آهک ریز بلور با سن الیگومیوسن تشکیل شده و شامل سنگ آهک، آهک ماسه‌ای و آهک با میان لایه‌های نازک مارنی است. این سازندها ضخیم لایه و دانه ریز بوده و دارای کربنات کلسیم بالا و میکروفسیل هستند و در برخی نقاط در آنها ساخت استیلولیت و میان لایه‌های چند میلی متری تا چند سانتی متری از رس و کنکرسبون آهکی مشاهده می گردد. در این واحدها تاقدیسها و ناودیسهای وسیع و ملایمی به وجود آمده است. واحدهایی با این مشخصات، بهترین استعداد را برای توسعه پدیده کارستی دارند. درز و شکافهای موجود در آنها و سنگهای قدیمی تر در اطراف همه کسی (جنوب فامنین) و باختر و خاور قهاوند اندازه گیری گردیده و پس از دسته بندی و ... وضعیت آنها در نوار شکل ۲ ارائه شده است که سه امتداد N160E، N130E، N50E در آنها مشاهده می شود. علاوه بر آن شکستگیهای بزرگ منطقه در عکسهای هوایی، دو امتداد N50E و N160E را نشان می دهند.

خصوصیات ویژه چاههای آب

الف) ماسه دهی چاهها

در اغلب چاههای آب منطقه همراه با آب خروجی، ماسه وجود دارد به طوری که سالانه در کف کانالها و حوضچه برخی از چاهها چندین تن ماسه نهشته می گردد. این پدیده ناشی از وجود لایه‌های رسوبی بادانه‌های

مستعد برای حرکت در اثر مکش و عدم وجود گراول پک با دانه بندی مناسب در جدار چاههاست. این ماسه شویی موجب کاهش استحکام لایه‌های رسوبی منطقه می شود.

ب) آبدهی چاهها

در اثر بهره برداری بیش از حد و افت ۴۵ متری سطح آب زیر زمینی در ۲۵ سال گذشته، میزان آبدهی چاههای آب منطقه به شدت کاهش یافته و کشاورزان اقدام به کف شکنی و عمیق سازی چاهها و یا حفر چاههای جدید با عمق زیاد در مجاور چاههای قدیمی کرده‌اند، به طوری که در برخی نقاط، بیش از ۵۰ متر از سنگ بستر را حفاری کرده‌اند. هنگام حفاری در برخی از چاهها، حفره‌های انحلالی و غار مانند و مجاری آبدار مشاهده شده و به همین خاطر این چاهها دارای آبدهی زیادی بوده و در طی چند سال اخیر از آبدهی آنها کاسته نشده است ولی در برخی از چاهها با وجود عمق زیاد، هرگز مجاری و حفره‌های کارستی مشاهده نشده و افزایشی میزان آبدهی آنها رخ نداده است.

ج- گل آلود شدن برخی چاهها هنگام وقوع فروچاله‌ها

در هنگام وقوع هر فروچاله، یکی از چاههای آب مجاور به شدت گل آلود گردیده و این گل آلود شدن در چاههایی مشاهده گردیده که در آنها سنگ کف حفاری شده و از آبدهی بالایی برخوردار می باشند. در جدول ۲ مشخصات این چاهها ذکر گردیده است. در فروچاله جهان آباد (S13) چاه مربوطه دست کم تا ۲۴ ساعت به شدت گل آلود و حتی در فروچاله همه کسی (S7) ابتدا چاه به شدت گل آلود و سپس دیواره آن ریزش نمود و در نهایت پر گردید. همچنین پس از وقوع هر فروچاله، بلافاصله این طور احساس شده که آب از یک سمت به سمت دیگر فروچاله در حرکت بوده و جهت حرکت به سوی چاه در حال بهره برداری بوده است. بدیهی است که وجود ارتباط بین چاه آب و محل فروچاله، علت اصلی گل آلودگی در چاههای آب منطقه است این ارتباط توسط مجاری آبدار برقرار بوده و وقتی که فرونشینی اتفاق می افتد، خاک سطحی ریزش نموده و به همراه آب از طریق مجاری به سوی چاه آب حرکت کرده و در نتیجه گل آلودگی رخ می دهد.

د) گازدهی برخی از چاهها

برخی از چاههای آب استان واقع در لالچین، چهاردولی و منطقه فامنین - قهاوند (اطراف روستاهای همه کسی و کوزره) دارای آبی با مزه تند، سوزنده، ترش، گس و تلخ بوده و در برخی از آنها گاز به همراه آب از چاه خارج می شود که بسیار تند و سوزنده بوده و نمی توان آن را استنشام کرد. با استفاده از پارامترهایی چون باقیمانده خشک، اسیدیت، قلیائیت بی کربناتی و دمای آب چاههای و نمونه‌ها و به کمک نمودارها مقادیر دی اکسید کربن محلول در آب برخی از این چاهها محاسبه شده که همراه با سایر پارامترها

در شکل ۷ نیز مقادیر کاتیونها و آنیونها در نمونه‌های آب متعلق به چاههای گازدار مناطق فامنین - قهواند، چهاردولی و لالچین با میانگین ۳۱۴ نمونه دشت همدان برای مقایسه ارائه شده است، ملاحظه می‌شود که مقادیر کلسیم و بی‌کربنات در نمونه‌های فامنین - قهواند بسیار بیشتر از سایر مناطق است. در نتیجه مقادیر عظیمی از سنگ بستر انحلال یافته و در آنها مجاری انحلالی تشکیل و توسعه یافته است.

از جمله شواهد دیگری که انحلال سنگ بستر را نشان می‌دهد وجود قشر سخت، نازک و زبری از کربنات کلسیم ته‌نشین شده در سطح کانالها و حوضچه برخی از چاههای گازدار بخصوص در منطقه فامنین - قهواند (همه کسی و کوزره) است. این قشر هنگامی که گاز دی‌اکسید کربن حل شده در آب به علت کاهش فشار و افزایش دما از آب خارج می‌شود و غلظت کلسیم افزایش می‌یابد تشکیل می‌گردد. بنابراین، همه این شواهد نشان می‌دهند که گاز دی‌اکسید کربن حل شده در آب به سنگ بستر منطقه حمله نموده و ضمن انحلال کربنات کلسیم سبب وسیع‌تر شدن درز و شکافها و ایجاد مجاری، حفره‌ها و کانالها بزرگ شده و سنگ بستری با مشخصات و ساختار درون کارست را به وجود آورده است.

تفاوت دمای آب چاهها

دمای آب چاههای گازدار و برخی از چاههای بدون گاز به‌عنوان یکی از پارامترهای صحرایی اندازه‌گیری و میانگین دما و میانگین عمق هر منطقه به‌همراه پارامترهایی چون اختلاف دمای بین مناطق، مختلف اختلاف دمای مربوط به تفاوت عمق در مناطق مختلف و... در جدول ۶ ارائه شده است. براساس داده‌های این جدول، میانگین دما در چاههای فامنین - قهواند نسبت به سایر مناطق بیشتر است. این اختلاف یا مربوط به دمای زمین گرمایی ناشی از افزایش عمق است و یا ممکن است علاوه بر عمق، عاملهای دیگری چون جریانهای گرمایی ناشی از فعالیت محلولهای گرمایی و پنوماتولیتی دخالت کرده باشند. اختلاف دما بین آب چاههای فامنین - قهواند با چهاردولی حدود ۲/۷ درجه سانتی‌گراد است که حدود ۱/۸۵ درجه آن مربوط به تفاوت در میزان عمق آنها است و حدود ۰/۸۵ درجه آن باید از منبع دیگری تامین شده باشد. همچنین لازم به ذکر است که دامنه تغییرات دمای آب چاهها حدود ۵/۸ درجه سانتی‌گراد و انحراف معیار آنها حدود ۱/۴۷ است.

در شکل ۸ نمودار دمای آب چاهها نسبت به عمق ارائه شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود بین دما و عمق همبستگی اندکی ($r=0.1/4$) وجود دارد. به‌علاوه اختلاف دما حتی در چاههای با عمق همسان و مجاور هم نیز مشاهده می‌گردد. مثلاً در منطقه لالچین، چاههای A5 و A16 با عمق همسان (برابر با ۷۰ متر)، دارای اختلاف دمایی حدود ۱/۶۵ درجه می‌باشند لذا چنین استنباط می‌گردد که جریانهای گرمایی با منشأ

و چاههای نمونه برداری شده در جدول ۳ ارائه گردیده‌اند. این جدول نشان می‌دهد که میزان دی‌اکسید کربن آزاد محلول خیلی بالا بوده و حتی در منطقه گازدار فامنین - قهواند به بیش از ۱۵۰۰ mg/L می‌رسد.

مقادیر زیاد دی‌اکسید کربن آزاد محلول در آب این چاهها نشان می‌دهد که فشار جزئی گاز CO₂ اولیه که در آن قسمتی از دی‌اکسید کربن در آب منطقه حل شده، بسیار بالا بوده است. با استفاده از جداول انحلالی گازها و حلالیت کربنات کلسیم، میزان فشار جزئی این گاز برآورد و در جدول ۴ ارائه شده است.

همان‌طوری که در جدول ۴ دیده می‌شود، فشار جزئی گاز دی‌اکسید کربن حاکم بر سیستم آب زیرزمینی بسیار بالا و در منطقه فامنین - قهواند به‌طور میانگین حدود ۱ اتمسفر بوده است. این فشار بالا نشان می‌دهد که فعالیتهای شدیدی از فازهای پنوماتولیتی در منطقه وجود داشته است و گاز دی‌اکسید کربن با منشأ درونی، به همراه سایر گازها وارد سیستم درز و شکاف و آب موجود در سنگ کف و رسوبات منطقه می‌شود.

انحلال سنگ بستر

همان‌گونه که ذکر شد، سنگ بستر منطقه استعدادی قوی برای تشکیل سیستم کارست داشته و از طرفی نتایج تجزیه و برآوردها نشان می‌دهد که مقادیر بالایی از دی‌اکسید کربن در سیستم آب زیرزمینی وجود داشته است. اکنون این پرسش مطرح می‌شود که آیا دی‌اکسید کربن و اسید کربنیک حاصل از آن به سنگ بستر کربناتی حمله کرده و میزان بی‌کربنات و کلسیم آب افزایش یافته است یا خیر.

برای پاسخ به این پرسش مقادیر شاخصهای اشباع و پایداری برای نمونه‌ها محاسبه و در جدول ۵ درج شده و در شکهای ۴ و ۵ نمودارهای تغییرات این شاخصها در سه منطقه فامنین - قهواند، لالچین و چهاردولی ارائه گردیده است. نمونه‌های منطقه فامنین - قهواند در این نمودارها دارای شاخص اشباع مثبت و شاخص پایداری کوچک‌تر از شش بوده و در شرایط اشباع و فوق اشباع قرار گرفته‌اند و مفهوم آن این است که آب حاوی گاز دی‌اکسید کربن به سنگ آهک منطقه حمله کرده و مقادیر زیادی از سنگ بستر را در خود حل کرده است.

همچنین در شکل ۶ نمودار مقادیر بی‌کربنات محلول در برابر مقادیر دی‌اکسید کربن برای نمونه‌ها ارائه شده که همبستگی بین آنها به نسبت بالا بوده و نشان می‌دهد که با افزایش دی‌اکسید کربن حل شده در آب، مقادیر بیشتری از کربنات کلسیم بستر انحلال یافته است. یعنی در منطقه فامنین - قهواند که مقادیر دی‌اکسید کربن حل شده در آب زیاد بوده است، مقادیر بیشتری از سنگ کربنات حل شده و در نتیجه حفره‌ها و مجاری انحلالی تشکیل و توسعه یافته‌اند.

۳- تمامی فروچاله‌ها در مجاورت چاههایی که در سنگ بستر آهکی حفر شده، به وجود آمده‌اند و هیچ یک از آنها در نزدیکی چاههای کم عمق و بدون سنگ بستر مشاهده نشده‌اند.

۴- فروچاله‌ها تنها در مجاورت چاههایی قرار گرفته‌اند که آبدهی زیادی داشته و هنگام حفاری به مجاری کارستی برخورد کرده‌اند و حتی در مجاور چاههای حفاری شده در سنگ بستر که کم آب بوده و به مجاری آبدار و کارستی برخورد نکرده، مشاهده نمی‌شوند.

۵- همه فروچاله‌ها دست کم شش ماه پس از حفاری و فعالیت چاههای کف شکنی شده به وجود آمده‌اند.

۶- در هنگام وقوع فرونشست، برخی از چاههایی که در سنگ کف حفر شده و در مجاورت فروچاله قرار داشته‌اند، برای چندین ساعت گل آلود شده‌اند.

۷- بلافاصله پس از رخداد این پدیده، احساس شده که آب از یک طرف فروچاله به پهلولی مقابل و رو به سوی چاه وابسته در حرکت بوده است. ۸- عمل فرو نشینی در منطقه خیلی سریع است و در عرض چند دقیقه همراه با ریزش سطحی و حتی ایجاد حالتی شبیه به گردباد صورت می‌گیرد. بر اساس مطالب فوق و شکل ۹ سازوکار تشکیل فروچاله‌های منطقه به طور خلاصه و به شرح زیر بیان می‌گردد.

همان گونه که قبلاً ذکر شد در برخی نقاط در داخل و سطح سنگ کف، حفره‌های غار مانند و مجاری آب وجود دارد. وقتی چاه آب به این حفره‌ها و مجاری برسد (نقطه K) از آبدهی بالایی برخوردار می‌شود و در اثر پمپاژ، آب با سرعت زیاد از حفره‌ها (مثلاً نقطه R) تخلیه می‌گردد از آنجا که لایه آبرفت بالایی دارای آب است، تحت فشار ایستایی (به ازای هر ۱۰ متر حدود ۱ اتمسفر فشار) آب موجود در آنها به سرعت از طریق حفره‌های موجود در سطح سنگ کف و مجاری متصل به آن به سوی چاه آب رانده می‌شود و در اثر حرکت سریع و رو به پایین، رسوبات موجود در حفره سطحی (نقطه T) به سوی غارهای زیر زمینی (نقطه R) و چاه آب رانده می‌شوند و یک خالی شدگی کمانی همانند شکل (B - ۹) حاصل می‌شود. از آنجا که به‌طور مداوم رسوبات شسته و حفره وسیع‌تر می‌شود و فشار ایستایی آب نیز همچنان وجود دارد، به‌طور مرتب ریزشهای کمانی ادامه می‌یابد و هر چه ناپایداری لایه‌های رسوبی بالایی بیشتر باشد، فرو ریزش کمانی با سرعت بیشتری انجام می‌گیرد. در منطقه مورد مطالعه یکی از عواملی که به ناپایداری و در نتیجه به فرو ریزش رسوبات کمک می‌کند، ماسه‌شویی در لایه‌های رسوبی است که به علت عدم وجود گراول پک مناسب در جدار چاهها اتفاق می‌افتد. در اثر فرو ریزشهای متوالی، فاصله بین سطح زمین و سقف حفره‌های کمانی شکل کاهش می‌یابد و سرانجام عدم پایداری و مقاومت به‌عنوان عامل چکاندن ماشه، عمل نموده و

درونی به‌همراه گاز و مواد گرمایی از طریق شکستگیها، درز و شکافها، گسلها و مجاری عمودی وارد سنگ بستر و سیستم آب زیرزمینی شده و سبب ایجاد ساختار کارست درونی و افزایش دما شده‌اند. در منطقه فامنین - قهاوند که سنگ بستر آهکی و گسلیده است، جریانهای گرمایی و محلولهای فعال به آسانی بر سنگ بستر اثر کرده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

وجود چاههای گازدار، چشمه‌های معدنی گازدار همچون باباگرگر، ناهنجاریهای ترکیبی در چاههای آب، تفاوت‌های دما در چاههای مجاور، مقادیر بالای پیریت در شسته‌های پیرامون دشت، توده‌های معدنی آهن با کانیهای شاخصی چون اسکورلیت، پستاسیت، پره‌نیت و...، تراورتهای قروه و دینگله کهریز و مقادیر بالایی از دی‌اکسید کربن آزاد محلول در آب مناطق فروچاله‌ها و مناطق گازدار نشان می‌دهند که محلولهای فعال گرمایی و فازهای پنوماتولیتی غنی از دی‌اکسید کربن به سیستم درز و شکاف و محیط آب زیرزمینی این مناطق وارد شده است. سنگ بستر منطقه لالچین از شیست و در منطقه چهاردولی از آهک دانه درشت و شیست تشکیل شده و استعداد چندانی برای انحلال و تشکیل کارست درونی از خود نشان نمی‌دهند ولی در منطقه اطراف فامنین (منطقه فروچاله‌ها) سنگ بستر آهکی بوده و با داشتن مشخصاتی همچون توده‌ای، بایومیکریت، ساخت استیلولیت، میان لایه‌های مارنی و کنکرسون، گسترشهای ملایم ناودیدی و تاقدیسی و سیستم درز و شکاف برای انحلال و تشکیل ساخت کارست درونی بسیار مستعد بوده است. در آبهای منطقه فامنین - قهاوند - کیودر آهنگ مقادیر زیادی از گاز دی‌اکسید کربن با منشأ درونی انحلال یافته است که این مقادیر حتی در برخی نقاط به بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. نتایج تجزیه شیمیایی آبها نشان می‌دهد که آبهای دی‌اکسید کربن دار منطقه به سنگهای کربناتی حمله کرده و با انحلال مقادیر بالایی از کربنات کلسیم، سبب تشکیل مجاری و حفره‌های انحلالی و توسعه سیستم درون کارست در منطقه گردیده‌اند.

پیش از بیان سازوکار وقوع فروچاله‌ها در منطقه، بهتر است بار دیگر چندین نکته و مطلب در مورد فروچاله‌ها، چاههای آب مجاور و سنگ بستر منطقه یاد آوری شود.

۱- همه فروچاله‌ها در مناطقی که سنگ بستر از نوع کارست است، قرار گرفته‌اند.

۲- شکل فروچاله‌ها در مناطقی که ضخامت رسوبات زیاد است، کاملاً دایره‌ای است و در مناطقی که سنگ کف به سطح زمین نزدیک است، شکل فروچاله تا حدودی تابع شکل حفره‌های سنگ بستر می‌باشد.

شود، به سرعت آب موجود در مجاری را تخلیه کرده و ممکن است در شرایط مناسب سبب فرو ریزشهای کمانی و منتهی به ایجاد فروچاله گردد. لازم به توضیح است که عامل اصلی تولید فروچاله‌ها در منطقه وجود سیستم درون کارست و پمپاژ آب داخل آن است. البته این پدیده هنگامی اتفاق می‌افتد که تمامی شرایط مهیا شود، بویژه مجاری که آب آنها خالی می‌گردد باید به گونه‌ای با مرز بین رسوبات و سنگ بستر ارتباط یابد و از گشادی مناسبی برخوردار باشند. هرچه فاصله بین چاه و محل اتصال مجرا به مرز کمتر و آبدهی چاه بیشتر باشد، فروچاله زودتر اتفاق می‌افتد. به هر حال محل وقوع فروچاله‌ها هنگامی قابل پیش بینی و پیش گویی است که نقشه دقیق مجاری، چاههای آب و محل اتصال مجاری به مرزسنگ بستر و رسوبات دقیقاً مشخص و رسم شود. در غیر این صورت، هر چند احتمال وقوع این پدیده در نزدیکی چاه مورد بهره برداری وجود دارد، ولی موقعیت دقیق، زمان وقوع و حتمی بودن وقوع آن مشخص نیست. بنابراین با توجه به بحث فوق توصیه می‌گردد که:

- ۱- از کف شکنی چاهها و حفاری در سنگ کف منطقه جلوگیری شود.
- ۲- چاههایی که کف شکنی و وارد سنگ بستر شده و دارای آبدهی بالایی می‌باشند، باید هر چه زودتر تعطیل شوند.
- ۳- با توجه به اینکه ماسه شویی در لایه های رسوبی تا حدی به ناپایداری رسوبات در مقابل فروریزش کمک می‌کند لذا بهتر است ابتدا دانه بندی لایه های رسوبی تولید کننده ماسه مشخص گردد و سپس دانه بندی گراول پک و اندازه سوراخ لوله های جدار بر اساس دانه بندی لایه ها و به روش علمی تعیین گردد.
- ۴- به طور کلی در حال حاضر بهره برداری از آب موجود در سنگ بستر منطقه فامنین باید متوقف شود و تنها هنگامی که آب موجود در سفره رسوبی بالایی به اتمام برسد می‌توان از آب کارست منطقه استفاده نمود.

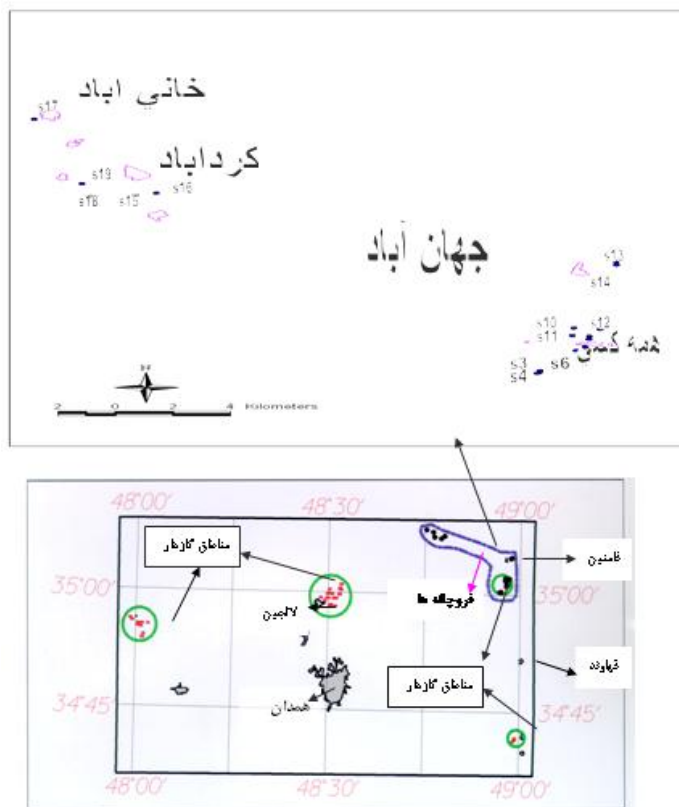
گسیختگی در خاک سطحی را ایجاد کرده و موجب فرو ریزش لایه سطحی می‌گردد. شکل (C-9) این وضعیت را نشان می‌دهد. معمولاً فروچاله‌های ایجاد شده در سطح دشت، دایره‌ای شکل بوده و هر چه عمیق‌تر می‌شوند شعاع دایره بیشتر می‌شود که این حالت نشانه فرو ریزشهای کمانی پی‌درپی است. لازم به ذکر است که خروج گاز از چاههای آب در طول سال و یا همزمان با پمپاژ به تشکیل حجمهای خالی در حفره‌های زیرزمینی کمک کرده و فشار و حرکت آب به داخل سنگ کف را تسریع می‌کند. در حال حاضر، ممکن است که بر اثر فروریزشهای کمانی در برخی نقاط، نطفه فروچاله‌های جدید شکل گرفته باشد که در آینده پس از کاهش پایداری لایه‌های سطحی عمل فروریزش اتفاق خواهد افتاد.

فروچاله‌های منطقه در محل تلاقی مخروط افت چاهها قرار نگرفته و در هنگام وقوع فرونشست برای هر فروچاله، گل آلودگی تنها در یک چاه مشاهده شده است. لذا اظهارات علیاری (۱۳۸۰) در مورد سازوکار وقوع فروچاله‌های مذکور بر مبنای بیشترین افت در محل تلاقی مخروط افت مورد تردید و مردود می‌باشد. همچنین کارست منطقه از نوع درونی بوده و بیانات سعادت و محمدی (۱۳۸۲) مبنی بر تشکیل کارست منطقه تحت تاثیر آب و هوا و اقلیم حاکم بر منطقه مورد قبول نمی‌باشد. به علاوه نحوه قرارگیری فروچاله‌ها به خصوص در منطقه همه کسی، نشان می‌دهد که اگرچه ممکن است گسلهای منطقه در تسهیل ورود محلولهای پنوماتولیتی و تشکیل مجاری نقش داشته‌اند، ولی به طور مستقیم در ایجاد فروچاله‌ها مؤثر نبوده‌اند.

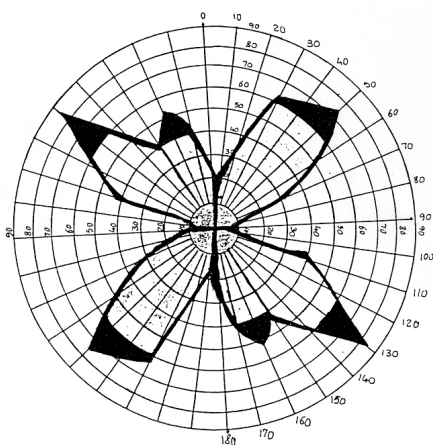
وجود شرایط ویژه زمین شناسی همچون ماسه شویی در لایه‌های رسوبی، خروج گاز از سیستم آب زیر زمینی و به ویژه وضعیت سنگ کف با داشتن مجاری و حفره‌ها متعدد، زمینه را برای وقوع همچون پدیده‌ای مهیا کرده و هر چاهی که در سنگ کف منطقه حفر و از آبدهی بالایی برخوردار

جدول ۱- مختصات فروچاله‌ها، چاههای گازدار نمونه برداری شده و چاههای کف شکنی شده (که همزمان با وقوع فروچاله گل آلود شده‌اند)

مختصات چاههای گازدار نمونه برداری شده				مختصات جغرافیایی فروچاله‌ها و چاههای وابسته به آنها (چاههای کف کنی شده)					
شماره چاه	عمق چاه (متر)	عرض شمالی	طول شرقی	چاههای کف شکنی شده		فروچاله‌ها			
				عرض شمالی	طول خاوری	عرض شمالی	طول خاوری	روستای نزدیک فروچاله	شماره فروچاله
لاجنین	A3	-۵۰/۲	-۱۶/۳	-۵۱/۶	-۵۷-۱۱	-۵۵/۶	-۱۷/۳	همه کسی	S1
	A5	-۵۲/۱	-۴۵	-۵۱/۶	-۵۷-۱۱	-۵۸/۷	-۱۴/۶	همه کسی	S2
	A6	-۱۴/۴	-۵۰/۴	-۵۷-۰۲	-۲۶/۷	-۵۷/۳	-۰۰-۱۷	همه کسی	S3
	A10	-۱۴/۶	-۱۱/۵	-۵۷-۰۲	-۲۶/۷	-۵۶/۵	-۱۲/۴	همه کسی	S4
	A11	-۲۳/۸	-۲۳/۳	-۵۷-۰۲	-۲۶/۷	-۵۳/۱	-۱۰/۶	همه کسی	S5
	A17	-۱۲/۷	-۱۲	-۴۵/۳	-۰۷/۴	-۴۶/۵	-۰۷/۱	همه کسی	S6
چهاردولی	B3	-۲۸/۷	-۵۵/۹	-۴۵/۳	-۰۷/۴	-۴۵/۳	-۰۶/۹	همه کسی	S7
	B5	-۵۰/۸	-۵/۷	-۵۷/۸	-۳۸/۸	-۰۲/۳	-۴۲/۲	همه کسی	S8
	B6	-۵۹-۹/۱	-۱۲/۶	-۵۷/۸	-۳۸/۸	-۰۲/۱	-۰۱-۳۵	همه کسی	S9
	B10	-۰۱-۵/۷	-۴۳	-۴۰/۱	-۰۱-۵۵	-۴۰/۶	-۰۱/۹	همه کسی	S10
	B11	-۵۷/۷	-۳۱	-۴۰/۱	-۰۱-۵۵	-۳۹/۲	-۴۳/۵	همه کسی	S11
فامنین-قهاوند	C1	-۵۹-۲۲	-۲۸/۴	-۰۶/۶	-۵۹/۲	-۱۶/۶	-۵۹/۳	همه کسی	S12
	C2	-۵۷-۰۲	-۲۹/۷	-۳۵/۲	-۳۶/۶	-۳۴/۴	-۰۴-۴۴	جهان آباد	S13
	C3	-۵۷/۸	-۲۸/۸	-۳۵/۲	-۳۶/۶	-۳۵/۲	-۳۶/۸	جهان آباد	S14
	C7	-۵۹/۶	-۱۲/۵	-۵۳/۱	-۲۰/۷	-۳۲/۹	-۰۰/۶	کردآباد	S15
	C8	-۱۸/۹	-۳۴/۴	-۵۳/۱	-۲۰/۷	-۰۱/۴	-۲۱/۲	کردآباد	S16
				-۰۶/۳	-۱۶/۲	-۰۹/۰	-۱۸/۲	خانی آباد	S17
				-۳۲/۵	-۰۹/۹	-۲۹/۷	-۱۱/۳	نوآباد	S18
				-۳۲/۵	-۰۹/۹	-۱۹/۲	-۴۲/۲	نوآباد	S19



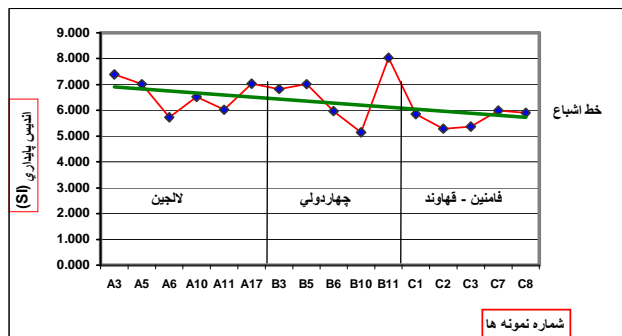
شکل ۱- نقشه موقعیت فروچاله‌ها و چاههای گازدار استان همدان



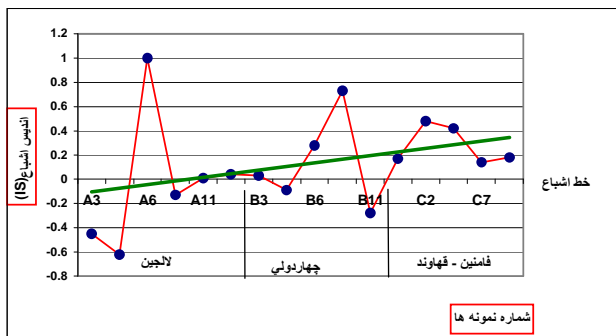
شکل ۳- نمودار شکستگیها در سنگهای الیگومیوسن منطقه (سنگ بستر)



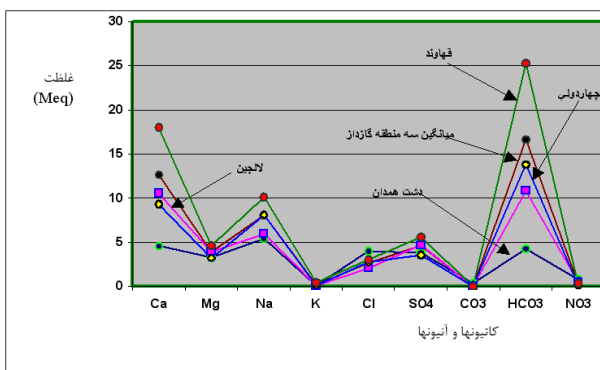
شکل ۲- تصویر یکی از فروچاله‌های دشت فامنین (S₁₃)



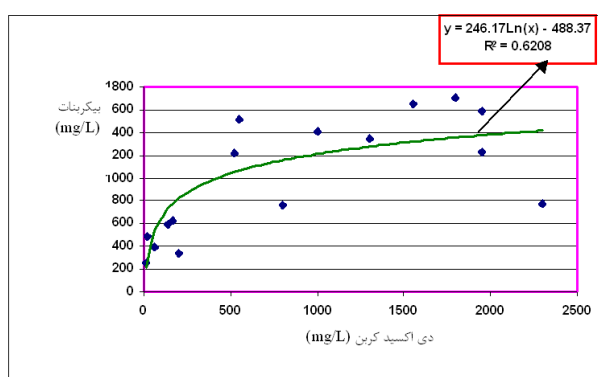
شکل ۵- نمودار تغییرات شاخص پایداری نمونه‌ها



شکل ۶- نمودار تغییرات شاخص اشباع نمونه‌ها



شکل ۷- نمودارهای میانگین مقادیر کاتیونها و آنیونها در نمونه‌های آب چند منطقه



شکل ۸- نمودار تغییرات بی کربنات در برابر دی اکسید کربن حل شده در نمونه‌ها

جدول ۲- مشخصات فروچاله‌ها و چاههای وابسته به آنها (چاه کف شکنی شده که همزمان با وقوع فروچاله گل آلود شده است)

ملاحظات	زمان کف شکنی	مشخصات چاههای کف کنی شده			ابعاد فروچاله (متر)		زمان وقوع فروچاله	شماره فروچاله
		تعداد حفره‌ها مشاهده شده ضمن حفاری در سنگ بستر	میزان حفاری در سنگ (متر)	عمق چاه (متر)	عمق	محیط		
گاز دار	۱۳۷۰	۲	۶۵	۷۵	۱/۵	۱۰۴	۱۳۷۱	S1
گاز دار	۱۳۷۰	۲	۶۵	۷۵	۲	۳۴	۱۳۷۶	S2
گاز دار	۱۳۷۰	۳	۳۵	۸۵	۱/۵	۱۳	۱۳۷۵	S3
گاز دار	۱۳۷۰	۳	۳۵	۸۵	۲	۴۸	۱۳۷۳	S4
گاز دار	۱۳۷۰	۳	۳۵	۸۵	۱۵	۶۵	۱۳۷۳	S5
گاز دار	۱۳۷۴	۲	۳۰	۷۰	۷	۱۸	۱۳۷۷	S6
کمی گاز	۱۳۷۴	۲	۳۰	۷۰	۵	۱۴	۱۳۷۸	S7
گاز دار	۱۳۷۴	۳	۸۰	۱۰۰	۰/۸	۶۲	۱۳۷۵	S8
گاز دار	۱۳۷۴	۳	۸۰	۱۰۰	۲/۵	۲۳	۱۳۷۶	S9
کمی گاز	۱۳۷۴	۱	۲۸	۴۵	۴/۵	۱۹	۱۳۷۵	S10
کمی گاز	۱۳۷۴	۱	۲۸	۴۵	۲/۵	۶۳	۱۳۷۵	S11
کمی گاز	۱۳۷۶	۳	۶۴	۱۰۰	۱/۵	۳۹	۱۳۷۸	S12
بدون گاز	۱۳۷۱	۴	۵۰	۱۵۵	۲۰	۶۵	۱۳۷۳	S13
بدون گاز	۱۳۷۱	۴	۵۰	۱۵۵	۱/۵	۵۰	۱۳۷۳	S14
بدون گاز	۱۳۷۵	۲	۳۰	۱۳۰	۳۰	۴۸	۱۳۸۱	S15
بدون گاز	۱۳۷۵	۲	۳۰	۱۳۰	۱۸	۷۲	۱۳۷۶	S16
بدون گاز	۱۳۷۲	۱	۳۰	۱۲۰	۳/۵	۲۶	۱۳۷۴	S17
بدون گاز	۱۳۷۶	۴	۴۲	۱۴۰	۰/۵	$d_1=10^*$ $d_2=20$	۱۳۷۷	S18
بدون گاز	۱۳۷۶	۴	۴۲	۱۴۰	۱۳	۸۲	۱۳۷۸	S19

جدول ۳- مقادیر دی‌اکسید کربن آزاد محلول در آب چاههای نمونه برداری شده و پارامترهای وابسته

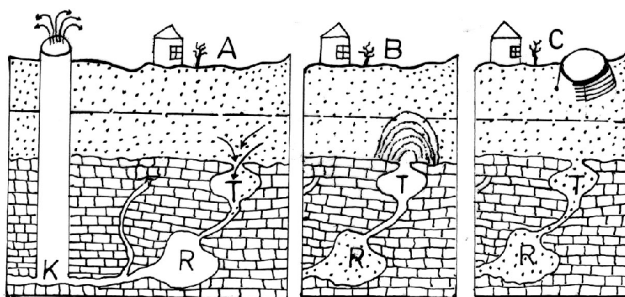
مناطق گاز دار	نمونه‌ها	اسیدیته نمونه‌ها در آزمایشگاه (pH)	دمای نمونه‌های آب در آزمایشگاه (C°)	دمای آب چاهها (C°)	قلیابیت بی کربناتی (mg/L)	باقیمانده خشک (mg/L)	دی‌اکسید کربن آزاد محلول براساس دمای نمونه در آزمایشگاه (mg/L)	دی‌اکسید کربن آزاد محلول براساس دمای آب خروجی چاه (mg/L)
لالجین	A3	۶/۵	۱۸/۸	۱۴/۸	۳۳۸	۸۲۲	۱۸۸	۲۰۰
	A5	۵/۷۸	۲۱/۹	۱۵/۸۵	۷۶۸	۱۰۲۵	۲۱۰۰	۲۳۰۰
	A6	۷/۷۱	۲۲	۱۵/۶	۴۸۸	۶۷۸	۱۶	۱۸
	A10	۶/۲۶	۱۹	۱۵/۶	۷۶۰	۱۲۱۲	۷۵۰	۸۰۰
	A11	۶/۰۵	۲۲	۱۴/۲	۱۲۳۲	۲۵۹۲	۱۶۵۰	۱۹۵۰
	A17	۷/۱۲	۱۸/۵	۱۳/۳	۳۸۸	۹۲۰	۵۵	۶۰
چهار نوبی	B3	۶/۱۸۸	۱۹/۳	۱۵	۵۹۰	۷۰۲	۱۳۰	۱۴۰
	B5	۶/۸۴	۱۹/۴	۱۵/۶	۶۲۶	۷۱۶	۱۵۰	۱۶۵
	B6	۶/۵۴	۱۹/۷	۱۵/۹	۱۲۲۰	۱۶۴۴	۴۷۰	۵۲۵
	B10	۶/۶۱	۱۹/۴	۱۴/۸	۱۵۱۲	۲۶۳۶	۵۰۰	۵۵۰
	B11	۷/۴۸	۱۹/۶	۱۴	۲۵۶	۳۰۹	۱۵	۱۷
فامنین - قهاوند	C1	۶/۲	۲۲/۲	۱۸	۱۵۸۶	۱۸۶۰	۱۸۰۰	۱۹۵۰
	C2	۶/۲۵	۲۰/۷	۱۶/۸	۱۶۴۸	۲۱۹۰	۱۴۰۰	۱۵۵۰
	C3	۶/۲۱	۲۰/۶	۱۷/۲	۷۱۱۰	۲۳۵۰	۱۷۰۰	۱۸۰۰
	C7	۶/۳۷	۲۳	۱۸/۴	۱۳۵۰	۱۶۴۲	۱۱۰۰	۱۳۰۰
	C8	۶/۲۷	۲۲/۷	۱۷/۸	۱۴۰۴	۱۶۷۲	۸۵۰	۱۰۰۰
میاندوین	لالجین	۶/۵۷	۲۰/۳۷	۱۴/۸۹	۶۶۲/۳	۱۲۱۰	۷۹۳/۲	۸۸۸
	چهاردولی	۶/۸۷	۱۹/۴۸	۱۵/۰۶	۵۴۱/۴	۱۲۰۱	۲۵۳	۲۷۹/۴
	قهاوند	۶/۲۴	۲۲/۰۴	۱۷/۶۴	۱۵۳۹/۶	۱۹۴۳/۸	۱۳۷۰	۱۵۲۰

جدول ۴- فشاربخشی اولیه دی‌اکسید کربن حاکم بر سیستم آب زیر زمینی

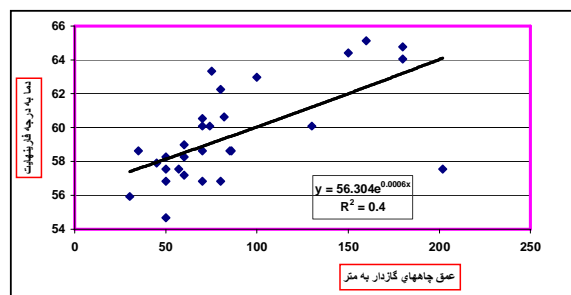
منطقه	میانگین دمای صحرایی (C°)	میانگین دی‌اکسید کربن (آزاد محلول) (mg/L)	میانگین دما آزمایشگاهی (C°)	با استاندارد به جدول رابطه CO ₂ با کربنات کلسیم حل شده			فشار CO ₂ اولیه بر حسب اتمسفر	فشار CO ₂ اولیه بر حسب اتمسفر با استاندارد به جدول مقادیر CO ₂ حل شده
				بی‌کربنات محلول (mg/L)	کربنات کلسیم حل شده (ppm)	فشار اولیه CO ₂ بر حسب اتمسفر		
لالجین	۱۴/۸۹	۸۸۸	۲۰/۳۷	۱۰/۸۶	۵۴۳	۰/۵۲	۰/۴۷	
چهاردولی	۱۵/۰۶	۲۷۹/۴	۱۹/۴۸	۸/۸۷	۴۴۳/۵	۰/۴۲	۰/۱۵	
فامنین - قهاوند	۱۷/۶۴	۱۵۲۰	۲۲/۰۴	۲۵/۲۴	۱۲۶۲	۱/۳	۰/۸۴	

جدول ۵- مقادیر شاخصهای پایداری (SI) و اشباع (IS) برای نمونه‌های اخذ شده از چاههای گازدار باتوجه به دمای آزمایشگاهی

منطقه	نمونه ها	T.D.S	F°	PH _n	C _{ca}	Alk	Log (C _{ca} × Alk)	F° × C _o	(Log(C _{ca} × Alk) + (F° × C _o))	0.1 × Log TDS	0.1 × (Log TDS) + C _i	PH _s	IS	Pre or corr	SI	Pre or corr
لالجین	A3	۸۲۲	۶۵/۸۴	۶/۵	۴۱۶	۲۷۷	۵/۰۶	۰/۹۳	۵/۹۹	۰/۲۹	۱۲/۹۴	۶/۹۵	-۰/۴۵	Corr	۷/۴	Corr
	A5	۱۰۳۵	۷۱/۴۲	۵/۷۸	۵۵۰	۶۳۰	۵/۵۴	۱/۰۱	۶/۵۵	۰/۳۰۱	۱۲/۹۵۱	۶/۴۰	-۰/۶۲	Corr	۷/۰۲	Corr
	A6	۶۷۸	۷۱/۶	۷/۷۱	۳۹۴	۴۰۰	۵/۲۰	۱/۰۲	۶/۲۲	۰/۲۸	۱۲/۹۳	۶/۷۱	+۱	Pre	۵/۷۳	Pre
	A10	۱۲۱۲	۶۶/۲	۶/۲۶	۶۸۸	۶۲۳	۵/۶۳	۰/۹۴	۶/۵۷	۰/۳۱	۱۲/۹۶	۶/۳۹	-۰/۱۳	Corr	۶/۵۲	Corr
	A11	۲۵۹۲	۷۱/۶	۶/۰۵	۸۴۶	۱۰۱۰	۵/۹۳	۱/۰۲	۶/۹۵	۰/۳۴	۱۲/۹۹	۶/۰۴	+۰/۰۱	Pre	۶/۰۳	Corr
	A17	۹۲۰	۶۵/۳	۷/۱۲	۲۷۶	۳۱۸	۴/۹۴	۰/۹۳	۵/۸۷	۰/۱۹۶	۱۲/۹۴۶	۷/۰۸	+۰/۰۴	Pre	۷/۰۴	Corr
دشت چهار دولی	B3	۷۰۲	۶۶/۷۴	۶/۸۸	۲۸۶	۴۸۳	۵/۱۴	۰/۹۵	۶/۰۹	۰/۲۸۵	۱۲/۹۳۵	۶/۸۵	+۰/۰۳	Pre	۶/۸۲	Corr
	B5	۷۱۶	۶۶/۹۲	۶/۸۴	۲۲۴	۵۱۳	۵/۰۶	۰/۹۵	۶/۰۱	۰/۲۸۵	۱۲/۹۳۵	۶/۹۳	-۰/۰۹	Corr	۷/۰۲	Corr
	B6	۱۶۴۴	۶۷/۴۶	۶/۵۴	۵۶۰	۱۰۰۰	۵/۷۵	۰/۹۶	۶/۷۱	۰/۳۲۲	۱۲/۹۷۲	۶/۲۶	+۰/۲۸	Pre	۵/۹۸	Pre
	B10	۲۶۳۶	۶۶/۹۲	۶/۶۱	۱۱۷۵	۱۲۳۹	۶/۱۶	۰/۹۵	۷/۱۱	۰/۳۴۲	۱۲/۹۹۲	۵/۸۸	+۰/۷۳	Pre	۵/۱۵	Pre
	B11	۳۰۹	۶۷/۲۸	۷/۴۸	۹۰	۲۱۰	۴/۲۸	۰/۹۶	۵/۲۴	۰/۲۴۹	۱۲/۹۹۹	۷/۷۶	-۰/۲۸	Corr	۸/۰۴	Corr
فامنین - قهاوند	C1	۱۸۶۰	۶۳/۳۹	۶/۲	۸۷۲	۱۳۰۰	۶/۰۵	۰/۹۰	۶/۹۵	۰/۳۲۷	۱۲/۹۷۷	۶/۰۳	+۰/۱۷	Pre	۵/۸۶	Pre
	C2	۲۱۹۰	۶۹/۲۶	۶/۲۵	۱۲۵۲	۱۳۵۰	۶/۲۳	۰/۹۸	۷/۲۱	۰/۳۳۴	۱۲/۹۸۴	۵/۷۷	+۰/۴۸	Pre	۵/۲۹	Pre
	C3	۲۳۵۰	۶۹	۶/۲۱	۱۱۸۷	۱۴۰۲	۶/۲۲	۰/۹۸	۷/۲۰	۰/۳۳۷	۱۲/۹۷۸	۵/۷۹	+۰/۴۲	Pre	۵/۲۷	Pre
	C7	۱۶۴۲	۷۳/۴	۶/۲۷	۵۶۴	۱۱۰۶	۵/۸۰	۱/۰۴	۶/۸۴	۰/۳۲۱	۱۲/۹۷۱	۶/۱۳	+۰/۱۴	Pre	۵/۹۹	Pre
	C8	۱۶۷۲	۷۲/۸۶	۶/۲۷	۶۲۰	۱۱۵۰	۵/۸۵	۱/۰۳	۶/۸۸	۰/۳۲۲	۱۲/۹۷۲	۶/۰۹	+۰/۱۸	Pre	۵/۹۱	Pre



شکل ۹- سازوکار تشکیل فروچاله‌های منطقه در رابطه با سنگ کف دشت



شکل ۸- نمودار همبستگی دما در برابر عمق در سه منطقه گزدار

جدول ۶- تغییرات دما در چاههای گزدار

منطقه	میانگین دمایی (°C)	میانگین عمق (m)	اختلاف دمایی موجود بین مناطق (°C)			اختلاف دمایی بر اثر عمق (°C)			اختلاف دمایی مازاد بر اثر عمق (°C)		
			لاچین	چهاردولی	فامنین-قهاوند	لاچین	چهاردولی	فامنین-قهاوند	لاچین	چهاردولی	فامنین-قهاوند
لاچین	۱۴/۴۹	۵۷/۱۷	۰۰	۰/۵	۳/۲	۰۰	۰/۶۲	۲/۴۸	۰۰	۰/۱۲	۰/۷۲
چهاردولی	۱۴/۹۹	۷۶	۰/۵	۰۰	۲/۷	۰/۶۲	۰۰	۱/۸۵	۰/۱۲	۰۰	۰/۸۵۲
فامنین-قهاوند	۱۷/۶۹	۱۳۲	۳/۲	۲/۷	۰۰	۲/۴۸	۱/۸۵	۰۰	۰/۷۲	۰/۸۵۲	۰۰

کتابنگاری

اصغری، م، ۱۳۸۱- بررسی تاثیر خواص هیدروشیمیایی آب زیرزمینی بر ساختمان چاههای کشاورزی دشت آذرشهر، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین. اکبرزاده‌خویی، ح، ۱۳۷۴- تهیه نقشه توپوگرافی و بررسی ویژگیهای زمین‌شناسی غار علیصدر همدان، نوزدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور.

امیری، م، ۱۳۷۴ - مطالعه پتروگرافی و پترولوژی و مواد معدنی منطقه آلموقلاق (شمال اسدآباد همدان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.

امیری، م.، ۱۳۸۱- بررسی گازدار شدن و ارائه راه حلها در رابطه با چاههای آب استان همدان، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان، نشریه شماره ۳۶۱. ترابی، ت.، ۱۳۷۹- هیدرولوژی زیرزمینی، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان، شماره ۳۳۱، ۳۶۲.

حیدری، م.، خائوری، غ و طالب بیدختی، ع.، ۱۳۸۲- بررسی انحلال پذیری سنگهای کربناته حاشیه نیروگاه همدان. سومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ص ۲۰۱-۱۸۹.

سعادت، ق.، و محمدی، ب.، ۱۳۸۲- وضعیت تکنوتیکی گودالهای فرونشینی دشت مرکزی همدان، سومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ص ۲۹۵-۲۸۶.

شریعت، م.، ۱۳۷۸- اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب، انتشارات دانشگاه تهران.

علیاری، ع.، فاطمی عقدا، م.، نخعی، م و بیت الهی، ع.، ۱۳۸۰- بررسی مکانیزم تشکیل فروچاله‌های دشت مرکزی همدان، دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ص ۶۹۳-۷۰۳.

نگاری، م.، ۱۳۱۹- آزمایشهای شیمیایی آبهای کانی باباگرگر، پایان نامه دکترای داروسازی، دانشکده داروسازی تهران، شماره ۶۲.

هاشمی، ع.، ۱۳۸۱- بررسی علل فرونشست عمومی زمین و تشکیل فروچاله‌ها در دشت فامنین و راههای مقابله با آن، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشکده صنعت آب و برق.

Reference:

- Dye, J.F., 1958- Correlaion of the two principal method of calculating The three kinds of alkalinity, J.Amer water works Assoc.50:812.
- Moore, E.W., 1939- Graphic determination of carbon dioxide and the three forms of alkalinity, J.Amer water works Assoc.31:51.
- Pewe, Troy. L., 1990- Land subsidence and earth-fissure formation caused by ground water withdrawal in Arizona, A review pages 218-233 in C.G.Higgins and D.R.
- Seibt, A., Haot, P and Naumann, D., 2000- Gas solubility in formation waters of the North German Bassin Implication for Geothermal energy recovery, Ptro ceeding word Geothermal congress 2003 Kyusha Tohoku Japan, May 28-jan 10, 2000.
- Standard method committee., 1990- Standard methods for the examination of water waster part 9000 chemical examination, Volume 1.
- Waltham, A.C., 1989- Ground subsidence, Blackie, 202p.
- William, L., 1992- Hydrogeologic factors affecting new sinkhole development in the Orlando area, Florida, Ground water, Vol.30, No.6

* مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان

* Agriculture and Natural Resource Research Center of Hamedan Province, Iran.