

## 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 70-100 متر می‌رسد که بهره برداری از آن بیش از ظرفیت سفره بوده و سالانه حدود 2/5-3 متر افت در سطح آب این سفره وجود دارد. در طی ده سال اخیر، دست کم حدود 19 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 1500 میلی گرم در لیتر، عامل اصلی توسعه کارست در منطقه است. همچنین وجود حفره‌های انجلاهی بزرگ، مجاری آب، سیستم درز و شکاف وسیع در سنگ بستر و 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 .

#### مقدمه

دشت فامنین - قهاوند- کبودرآهنگ بخشی از حوضه قره‌چای، در شمال استان همدان است، که دارای تراکم جمعیتی بالایی





نفت، حرکات سنگ در عملیات معدنی و زهکشی زمینهای لجنی و ماندابی، به‌عنوان عوامل اصلی وقوع فروچاله‌ها یاد شده است (17 و 14).

علیاری (1380) در مطالعه فروچاله‌های همدان با بررسی هیدروگراف واحد، میانگین تقریبی افت سطح آب را در یک دوره 9 ساله حدود 3 متر 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 (9)، حیدری (1382) 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  $4 \text{ m/s}$  -  $10 \times 1/28$  برآورد و اظهار کرده که این سنگها توان بالایی برای انحلال پذیری دارند (6). اکبرزاده خوبی (1374) با بررسی محدودۀ 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 استالاکمیت، استالاکتیت و پلانته مشاهده می‌گردد (2). سعادت و محمدی (1382) 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 (7). هاشمی (1381) با بررسی نمودارهای حفاری در پیرومترهای اکتشافی و چاههای بهره برداری، ضخامت آبرفت روی سنگ بستن را بین 10 تا 150 متر برآورد کرده است (11). Seibt et al. (2000) در مقاله خویش درباره استفاده از انرژی زمین گرمایی آبهای سازندهای تریاس و ژوراسیک آلمان اظهار کرده که حدود 3 تا 10 درصد حجمی آبهای منطقه از گاز تشکیل شده که بیش از 57 تا 94 درصد آن گاز دی‌اکسیدکربن است (15). امیری (1374) سازندهای آلموقلاق 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 تراورتنهای منطقه دینگله کهریز و تراورتنهای 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 (3 و 4). همچنین نگاری (1319) با تجزیه آب پنج چشمه آب معدنی باباگرگ واقع در شمال دشت چهار دولی و باختر منطقه لالچین و تحلیل آنها وجود گاز دی‌اکسیدکربن،

بوده و به‌عنوان یک سفره آب زیر زمینی، به‌شدت مورد بهره برداری قرار گرفته است. به‌علت کاهش آبدهی، در سالهای اخیرکف شکنی و حفاری درسنگ بستر برخی از چاههای آب منطقه صورت گرفته و به‌دنبال آن فروچاله‌های بزرگ و کوچکی در مجاورت این چاهها به‌وجود آمده است که ضمن خسارت به‌زمینهای کشاورزی و تهدید نیروگاه برق و دیگر تأسیسات، موجب نگرانی ساکنان منطقه و مسئولان استان گردیده است. تا سال 1379 حدود 11 فروچاله در سطح دشت مذکور اتفاق افتاده است (9) که تا تابستان 1382 تعداد آنها دست کم به 19 مورد رسیده است. همچنین درمجاورت فروچاله‌ها ویا درفاصله‌های نه‌چندان 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. دی‌اکسیدکربن 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 به‌شمار می‌آید. دی‌اکسیدکربن با منشأ جوی، برسنگهای آهکی اثر نموده و سبب ایجاد سیستم برون کارست می‌شود ولی به‌علت مقدار کم، بر سنگهای آهکی مدفون شده در زیر رسوبات اثر قابل ملاحظه‌ای ندارد و سیستم درون کارست توسط دی‌اکسیدکربن با منشأ درونی حاصل می‌گردد (5). مقدار دی‌اکسیدکربن آزاد محلول درآبهای جوی اندک است و مقادیر بیشتر از 10 میلی‌گرم بر لیتر و به‌ویژه اگر از 100 میلی‌گرم بر لیتر بیشتر باشد، ناشی از فعالیت فازهای پنوماتولیتی و گرمایی می‌باشد (13 و 16). 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 به‌ترتیب مثبت وکمتر از شش باشد بدین معنی است که آب حاوی دی‌اکسیدکربن به سنگ کربنات حمله کرده و خوردگی و انحلال به‌وقوع پیوسته و شرایط فوق اشباع برای یون کلسیم محلول در آب به‌وجود آمده است (8). سنگهای کربناتی که ریزیلور و ضخیم لایه بوده و دارای سیستم درزشکاف به‌همراه ناودیسهاو تاق‌دیسهای ملایم و میان لایه‌های رسی-مارنی هستند، برای توسعه پدیده کارستی شدن بسیار مستعد هستند (5).

در ناحیه اولاندو و ایالات متحده، دست کم 140 فروچاله بین سالهای 1961 تا 1986 تشکیل شد (18). 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





کاتیونها، آنیونها و سایر پارامترها تجزیه شدند. استفاده از مقادیر به دست آمده برای ترکیب‌هایی چون باقیمانده خشک، قلیائیت کربناتی، اسیدیته و دما و به کمک نمودارهای استاندارد (16) مقادیر دی‌اکسیدکربن آزاد محلول در آبهای منطقه برآورد گردید و سپس به کمک جداول حلالیت گازها (8) و به روش درونیابی، میزان فشار اولیه دی‌اکسیدکربن حاکم بر سیستم به دست آمد. همچنین با استفاده از روش محاسباتی (8) طبق معادلات 1 و 2 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.

$$pHs = [0.1 \log(T.D.S) + Ct] - [\log(Cca \times ALK) + (F^0 \times Co)] \quad (1)$$

$$IS = pHn - pHs \quad (2)$$

$$SI = 2pHs - pHn \quad (3)$$

در معادلات فوق، پارامترهای  $pHn, F^0, ALK, Cca, T.D.S$  و  $pHs$  به ترتیب باقیمانده خشک، غلظت کلسیم معادل کربناتی، قلیائیت کل، دما به فارنهایت، اسیدیته واقعی و اسیدیته اشباع را نشان می‌دهند. ضرایب  $Co$  و  $Ct$  در دماهای بیشتر از 77 درجه فارنهایت به ترتیب برابر با 0/00915 و 2/27 و در دماهای کمتر 0/0142 و 12/65 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 (2) ارائه شده و در شکل (2) 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 6 ماه تا چند سال

سولفید هیدروژن و آمونیاک را در این چشمه‌ها شناسایی و گزارش کرده است (10).

اصغری مقدم (1381) با بررسی چاه‌های آب دشت آذر شهر علت خوردگی تجهیزات درون چاهی منطقه را حضور دی‌اکسیدکربن آزاد محلول در آب گزارش کرده است (1). همچنین امیری (1381) در بررسی علت خوردگی تجهیزات مناطق گازدار استان همدان، با تجزیه شیمیایی 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 زمین‌شناسی 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 70-60 کیلومتری شهر همدان واقع شده‌اند. مشخصات 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 (1) درج شده است همچنین موقعیت این فروچاله‌ها به همراه محدوده مناطق گازدار استان در نقشه شکل 1 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 درز شکاف 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- قهاوند، لالچین و چهاردولی حدود 16 نمونه آب برای اندازه‌گیری





باختري دشت اورقین بهسوي بابانظر و اطراف روستاي همه کسي، سنگ بستر در محل فروچاله‌ها از آهک ریز بلور با سن الیگومیوسن تشکیل شده و شامل سنگ‌آهک، آهک ماسه‌اي و آهک با میان لایه‌هاي نازک مارني است. این سازندها ضخیم لایه و دانه‌ریز بوده و دارای کربنات کلسیم بالا و میکروفسیل هستند و در برخی نقاط در آنها ساخت استیلولیت و میان لایه‌هاي چند میلی‌متری تا چند سانتی‌متری از رس و کنکرسینون آهکی مشاهده می‌گردد. در این واحدها تاقدیسها و ناودیسهای وسیع و ملایمی به‌وجود آمده است. واحدهایی با این مشخصات، بهترین استعداد را برای توسعه پدیده کارستی دارند. درز و شکافهای موجود در آنها و سنگهای قدیمی‌تر در اطراف همه کسي (جنوب فامین) و باختر و خاور قهاوند اندازه‌گیری گردیده و پس از دسته بندی و ... وضعیت آنها در نمودار شکل 2 ارائه شده است که سه امتداد N160E، N130E، N50E در آنها مشاهده می‌شود. علاوه بر آن شکستگیهای بزرگ منطقه در عکسهای هوایی، دو امتداد N160E و N50E را نشان می‌دهند.

### 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 می‌گردد. این پدیده ناشی از وجود لایه‌های رسوبی بادانه‌های مستعد برای حرکت در اثر مکش و عدم وجود گراول پک با دانه‌بندی مناسب در جدار چاههاست. این ماسه شویی موجب کاهش استحکام لایه‌های رسوبی منطقه می‌شود.

#### ب) آبدهی چاهها

در اثر بهره برداری بیش از حد و افت 45 متری سطح آب زیر زمینی در 25 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 50 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.

پس از حفر چاههای کف شکنی شده به‌وجود آمده‌اند. بنابراین سن فروچاله‌ها جوان‌تر از چاههای کف شکنی شده و محدود به ده سال اخیر بوده و آخرین آنها در پاییز 1381 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 دایره بیشتر می‌شود و این نشان می‌دهد که رسوبات به‌صورت کمّانی و از زیر ریزش کرده‌اند. لایه‌های بالایی به‌علت دانه ریز بودن دارای چسبندگی بیشتری می‌باشند. با گذشت زمان و افزایش و سن فروچاله‌ها، حاشیه آنها ریزش کرده و شکل استوانه‌ای به‌خود می‌گیرند.

### 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 ویژه‌گیهای منحصر به‌فردی بوده که به طور خلاصه وضعیت آنها تشریح می‌گردد.

#### الف) رسوبات آبرفتی

ضخامت رسوبات آبرفتی دشت، به‌طور میانگین حدود 100-70 متر است که در حوالی روستای همه کسي به حدود 20 متر و در حواشی روستای جهان آباد به بیش از 120 متر می‌رسد. بر اساس اطلاعات حاصل از حفاری، لایه سطحی از رس و سیلت تشکیل گردیده و پس از آن رسوبات شنی، ماسه‌اي و سیلنتی تا عمق 60 متری قرار گرفته و با افزایش عمق همین وضعیت تکرار می‌گردد و در عمق حدود 100 متری، آهک و گاهی آهک مارني به‌عنوان سنگ بستر ظاهر می‌شود. در بسیاری از نقاط و به‌ویژه 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 می‌دهند.

#### ب) سنگ بستر با مشخصات درون کارست

بر اساس حفاریها و بیرون زدگیهای موجود در مناطق شمال





فازهای پنوماتولیتی در منطقه وجود داشته است و گاز دی‌اکسیدکربن با منشأ درونی، به همراه سایرگازها وارد سیستم درز و شکاف و آب موجود در سنگ کف و رسوبات منطقه می‌شود.

#### انحلال سنگ بستر

همان گونه که ذکر شد، سنگ بستر منطقه استعدادی قوی برای تشکیل سیستم کارست داشته و از طرفی نتایج تجزیه و برآوردها نشان می‌دهد که مقادیر بالای از دی‌اکسیدکربن در سیستم آب زیرزمینی وجود داشته است. اکنون این پرسش مطرح می‌شود که آیا دی‌اکسیدکربن و اسیدکربنیک حاصل از آن به سنگ بسترکربناتی 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 5 درج شده و در شکلهای 4 و 5 نمودارهای تغییرات این شاخصها در سه منطقه فامنین- قهاوند، لالچین و چهاردولی ارائه گردیده است. نمونه‌های منطقه فامنین- قهاوند 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 دی‌اکسیدکربن به سنگ‌آهک منطقه حمله کرده و مقادیر زیادی از سنگ بستر را در خود حل کرده است.

همچنین در شکل 6 نمودار مقادیر بی‌کربنات محلول در برابر مقادیر دی‌اکسیدکربن برای نمونه‌ها ارائه شده که همبستگی بین آنها به نسبت بالا بوده و نشان می‌دهد که افزایش دی‌اکسیدکربن حل شده در آب، مقادیر بیشتری از کربنات کلسیم سنگ بستر انحلال یافته است. یعنی در منطقه فامنین- قهاوند که مقادیر دی‌اکسیدکربن 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.

در شکل 7 نیز مقادیر کاتیونها و آنیونها در نمونه‌های آب متعلق به چاههای گازدار مناطق فامنین- قهاوند، چهاردولی و لالچین با میانگین 314 نمونه دشت همدان برای مقایسه ارائه شده است، ملاحظه می‌شود که مقادیر کلسیم و بی‌کربنات در نمونه‌های فامنین- قهاوند 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 نه‌نشین شده در سطح کانالها و حوضچه برخی از چاههای گازدار بخصوص در منطقه فامنین- قهاوند (همه کسی و کوزره)

#### ج- گل آلود شدن برخی چاهها هنگام وقوع فروچاله‌ها

در هنگام وقوع هر فروچاله، یکی از چاههای آب مجاور به‌شدت گل آلود گردیده و این گل آلود شدن در چاههایی مشاهده گردیده که در آنها سنگ کف حفاری شده و از آبدهی بالایی برخوردار می‌باشند. در جدول 2 مختصات این چاهها ذکر گردیده است. در فروچاله جهان آباد (S13) چاه مربوطه دست کم تا 24 ساعت به شدت گل آلود و حتی در فروچاله همه کسی (S7) ابتدا چاه به‌شدت 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 به‌سوی 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 آیدار برقرار بوده و وقتی که فرونشینی اتفاق می‌افتد، خاک سطحی ریزش نموده و به همراه آب از طریق مجاری به‌سوی چاه آب حرکت کرده و در نتیجه گل آلودگی رخ می‌دهد.

#### د) گازدهی برخی از چاهها

برخی از چاههای آب استان واقع در لالچین، چهاردولی و منطقه فامنین - قهاوند (اطراف روستاهای همه‌کسی و کوزره) دارای آبی با مژه تند، سوزنده، ترش، گس و تلخ بوده و در برخی از آنها گاز به‌همراه آب از چاه خارج می‌شود که بسیار تند و سوزنده بوده و نمی‌توان آن را استنشام کرد. با استفاده از پارامترهایی چون باقیمانده خشک، اسیدیته، قلیائیت بی‌کربناتی و دمای آب چاههای و نمونه‌ها و به‌کمک نمودارها مقادیر دی‌اکسیدکربن محلول در آب برخی از این چاهها محاسبه شده که همراه با سایر پارامترها و چاههای نمونه برداری شده در جدول 3 ارائه گردیده‌اند. این جدول نشان می‌دهد که میزان دی‌اکسیدکربن آزاد محلول خیلی بالا بوده و حتی در منطقه گازدار فامنین- قهاوند به بیش از mg/L 1500 می‌رسد.

مقادیر زیاد دی‌اکسیدکربن آزاد محلول در آب این چاهها نشان می‌دهد که فشار جزئی گاز CO<sub>2</sub> اولیه که در آن قسمتی از دی‌اکسیدکربن 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 4 ارائه شده است.

همان‌طوری که در جدول 4 دیده می‌شود، فشار جزئی گاز دی‌اکسیدکربن حاکم بر سیستم آب زیرزمینی بسیار بالا و در منطقه فامنین- قهاوند به‌طور میانگین حدود 1 اتمسفر بوده است. این فشار بالا نشان می‌دهد که فعالیتهای شدیدتری از







### 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 شیست‌های پیرامون دشت، توده‌های معدنی آهن با کانیهای شاخصی چون اسکورلیت، پستاسیت، پره‌نیت و...، تراورتن‌های قروه و دینگلک کهریز و مقادیر بالایی از دی‌اکسیدکربن آزاد محلول در آب مناطق فروچاله‌ها و مناطق گازدار نشان می‌دهند که محلول‌های فعال گرمایی و فازهای پنوماتولیتی غنی از دی‌اکسیدکربن 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، بايومیکرایت، ساخت استیلولیت، میان لایه‌های مازنی و کنکرسین، گسترش‌های ملایم ناودیسسی و تاقدیسسی و سیستم درز و شکاف برای انحلال و تشکیل ساخت کارست درونی بسیار مستعد بوده است. در آبهای منطقه فامنین- قهاوند- کبودرآهنگ مقادیر زیادی از گاز دی‌اکسیدکربن با منشأ درونی انحلال یافته است که این مقادیر حتی در برخی نقاط به بیش از 2000 میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. نتایج تجزیه شیمیایی آنها نشان می‌دهد که آبهای دی‌اکسیدکربن‌دار 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.

- 1- همه فروچاله‌ها در مناطقی که سنگ بستر از نوع کارست است، قرار گرفته‌اند.
- 2- 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.
- 3- 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.
- 4- فروچاله‌ها تنها در مجاورت چاههایی قرار گرفته‌اند که آبدی زیادی داشته و هنگام حفاری به مجاری کارستی

است. این فشار هنگامی که گاز دی‌اکسیدکربن 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 دی‌اکسیدکربن 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 به عنوان یکی از پارامترهای صحرایی اندازه‌گیری و میانگین دما و میانگین عمق هر منطقه به همراه پارامترهایی چون اختلاف دمای بین مناطق، مختلف اختلاف دمای مربوط به تفاوت عمق در مناطق مختلف و... در جدول 6 ارائه شده است. براساس داده‌های این جدول، میانگین دما در چاههای فامنین- قهاوند 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- قهاوند با چهاردولی حدود 2/7 درجه سانتی‌گراد است که حدود 1/85 درجه آن مربوط به تفاوت در میزان عمق آنها است و حدود 0/85 درجه آن باید از منبع دیگری تامین شده باشد. همچنین لازم به ذکر است که دامنه تغییرات دمای آب چاهها حدود 5/8 درجه سانتی‌گراد و انحراف معیار آنها حدود 1/47 است.

در شکل 8 نمودار دمای آب چاهها نسبت به عمق ارائه شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود بین دما و عمق همبستگی اندکی ( $r=0/4$ ) وجود دارد. به علاوه 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 70 متر)، دارای اختلاف دمایی حدود 1/65 درجه می‌باشند لذا چنین استنباط می‌گردد که جریان‌های گرمایی با منشأ درونی به همراه 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.





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 کمّانی 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 (1380) 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 (1382) 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 زمین‌شناسی 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 شود، به سرعت آب موجود در مجاری را تخلیه کرده و ممکن است در شرایط مناسب سبب فرو ریزشهای کمّانی 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 گشادگی 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 مرز سنگ 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:

- 1- از کف شکنی چاهها و حفاری در سنگ کف منطقه جلوگیری شود.
- 2- چاههایی که کف شکنی و وارد سنگ بستر شده و دارای

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.

5- همه فروچاله‌ها دست‌کم شش ماه پس از حفاری و فعالیت چاههای کف شکنی شده به وجود آمده‌اند.

6- 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.

7- بلافاصله پس از رخداد این پدیده، احساس شده که آب از یک طرف فروچاله به پهلوی مقابل و رو به سوی چاه وابسته در حرکت بوده است.

8- 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 9 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 ایستابی (به ازای هر 10 متر حدود 1 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 کمّانی همانند شکل (B - 9) حاصل می‌شود. از آنجا که به طور مداوم رسوبات شسته و حفره وسیع‌تر می‌شود و فشار ایستابی آب نیز همچنان وجود دارد، به طور مرتب ریزشهای کمّانی ادامه می‌یابد و هر چه ناپایداری لایه‌های رسوبی بالایی بیشتر باشد، فرو ریزش کمّانی 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 یک مناسب در جدار چاهها اتفاق می‌افتد. در اثر فرو ریزشهای متوالی، فاصله بین سطح زمین و سقف حفره‌های کمّانی شکل کاهش می‌یابد و سرانجام عدم پایداری و مقاومت به عنوان عامل چکاندن ماشه، عمل نموده و گسیختگی در خاک سطحی را ایجاد کرده و موجب فرو ریزش لایه سطحی می‌گردد. شکل (C - 9) این وضعیت را نشان می‌دهد. معمولاً فرو چاله‌های ایجاد شده در سطح دشت، دایره‌ای شکل بوده و هر چه عمیق‌تر می‌شوند شعاع دایره بیشتر می‌شود که این حالت نشانه فرو ریزشهای کمّانی پی‌درپی است. لازم به ذکر است که خروج





آبدهی بالایی می‌باشند، باید هر چه زودتر تعطیل شوند. تعیین گردد.

3- با توجه به اینکه ماسه شویی در لایه های رسوبی تا حدی به ناپایداری رسوبات در مقابل فروریزش کمک می‌کند لذا بهتر است ابتدا دانه‌بندی لایه‌های رسوبی تولید کننده ماسه مشخص گردد و سپس دانه‌بندی گراول پک و اندازه سوراخ لوله‌های جدار بر اساس دانه‌بندی لایه‌ها و به روش علمی

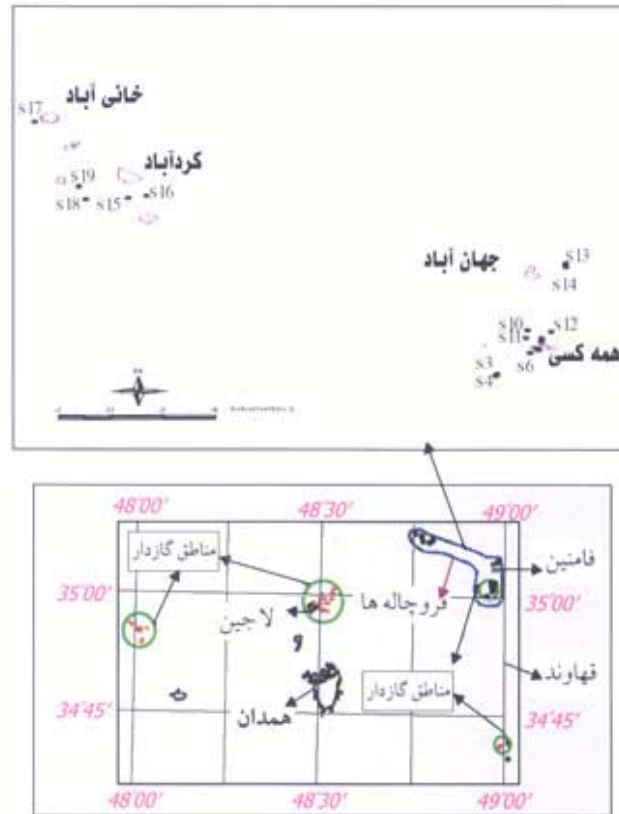
4- به‌طور کلی در حال حاضر بهره برداری از آب موجود در سنگ بستر منطقه فامنین باید متوقف شود و تنها هنگامی که آب موجود در سفره رسوبی بالایی به اتمام برسد می‌توان از آب کارست منطقه استفاده نمود.

جدول 1- مختصات فروچاله‌ها، چاه‌های گازدار نمونه برداری شده و چاه‌های کف شکنی شده (که همزمان با وقوع فروچاله گل آلود شده‌اند)

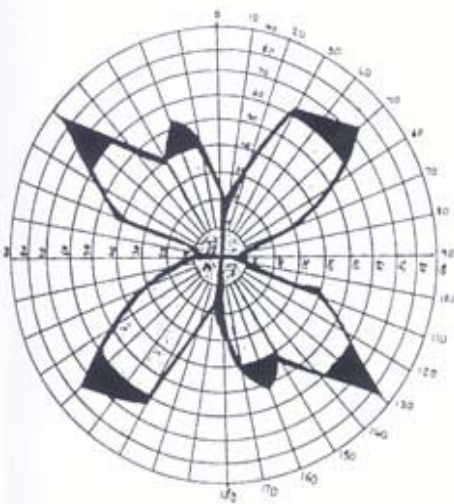
مناطق	نمونه‌ها	مختصات چاه‌های گازدار نمونه برداری شده		مختصات جغرافیایی فروچاله‌ها و چاه‌های وابسته به آنها (چاه‌های کف کنی شده)					
		عرض شمالی	طول شرقی	چاه‌های کف شکنی شده		فروچاله‌ها			
				عرض شمالی	طول خاوری	عرض شمالی	طول خاوری	روستای نزدیک فروچاله	شماره
الچین	A3	-28-50/2° 48	-59-16/3° 34	-57-51/6° 48	34-57-11°	48-57-55/6°	-01-17/3° 35	همه کسی	S1
	A5	-29-53/1° 48	-59-45/3° 34	-57-51/6° 48	34-57-11°	48-57-58/7°	-01-14/6° 35	همه کسی	S2
	A6	-30-14/4° 48	-59-50/4° 34	48-57-02°	-00-26/7° 35	48-56-57/3°	35-00-17°	همه کسی	S3
	A10	-30-14/6° 48	-58-11/5° 34	48-57-02°	-00-26/7° 35	48-56-56/5°	-00-12/4° 35	همه کسی	S4
	A11	-30-23/8° 48	-58-23/3° 34	48-57-02°	-00-26/7° 35	48-56-53/1°	-00-10/6° 35	همه کسی	S5
	A17	-31-12/7° 48	-59-12/3° 34	-57-45/3° 48	-01-07/4° 35	48-57-46/5°	-01-07/1° 35	همه کسی	S6
چهاردولی	B3	-59-28/7° 47	-55-55/9° 34	-57-45/3° 48	-01-07/4° 35	48-57-45/3°	-01-06/9° 35	همه کسی	S7
	B5	-00-50/8° 48	-55-57/7° 34	-57-57/8° 48	-01-38/8° 35	48-58-02/3°	-01-42/2° 35	همه کسی	S8
	B6	-59-9/1° 48	-56-12/6° 34	-57-57/8° 48	-01-38/8° 35	48-58-02/1°	35-01-35°	همه کسی	S9
	B10	-01-5/7° 48	-53-43/3° 34	-57-40/1° 48	35-01-55°	48-57-40/6°	-02-01/9° 35	همه کسی	S10
	B11	-00-57/7° 48	-55-31/3° 34	-57-40/1° 48	35-01-55°	48-57-39/2°	-01-43/5° 35	همه کسی	S11
فامنین-قهاوند	C1	-59-22/4° 48	-41-28/4° 34	-58-06/6° 48	-01-59/2° 35	48-58-16/6°	-01-59/3° 35	همه کسی	S12
	C2	-57-02/4° 48	-00-29/7° 34	-58-35/2° 48	-04-36/6° 35	48-58-34/4°	35-04-44°	جهان آباد	S13
	C3	-57-57/8° 48	-01-38/8° 34	-58-35/2° 48	-04-36/6° 35	48-58-35/2°	-04-36/8° 35	جهان آباد	S14
	C7	-58-59/6° 48	-41-12/5° 34	-47-53/1° 48	-07-20/7° 35	48-47-32/9°	-07-00/6° 35	کردآباد	S15
	C8	-59-18/9° 48	-41-34/4° 34	-47-53/1° 48	-07-20/7° 35	48-48-01/4°	-07-21/2° 35	کردآباد	S16
					-45-06/3° 48	-10-16/2° 35	48-45-09/0°	-10-18/2° 35	خانی آباد
				-46-32/5° 48	-07-09/9° 35	48-46-29/7°	-07-11/3° 35	نوآباد	S18
				-46-32/5° 48	-07-09/9° 35	48-46-19/2°	-07-42/2° 35	نوآباد	S19







شکل 1- نقشه موقعیت فروچاله ها و چاههای گازدار استان همدان



شکل 3- نمودار شکستگیها در سنگهای الیگومیوسن منطقه (سنگ بستر)



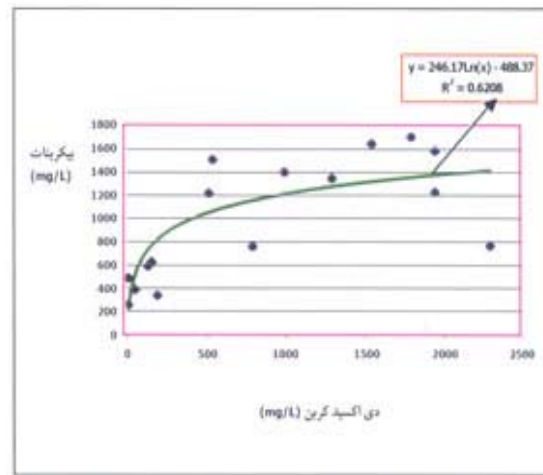
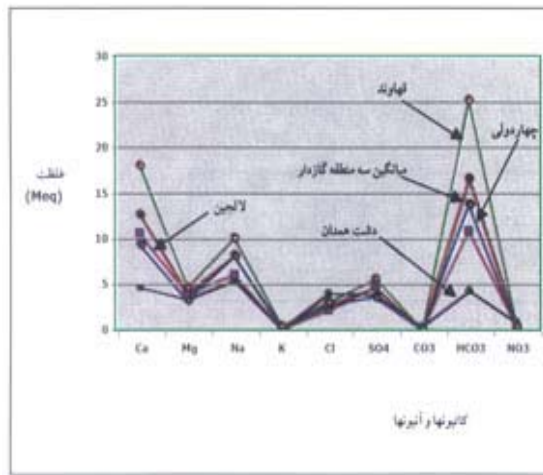
شکل 2- تصویر یکی از فروچاله های دشت فامنین (S13)





شکل 5- نمودار تغییرات شاخص پایداری نمونه‌ها

شکل 4- نمودار تغییرات شاخص اشباع نمونه‌ها



شکل 7- نمودارهای میانگین مقادیر کاتیونها و آنیونها در نمونه‌های آب چند منطقه

شکل 6- نمودار تغییرات بی‌کربنات در برابر دی‌اکسیدرین حل شده در نمونه‌ها

جدول 2- مشخصات فروچاله‌ها و چاههای وابسته به آنها (چاه کف شکنی شده که همزمان با وقوع فروچاله گل آلود شده است)

شماره فروچاله	زمان وقوع فروچاله	ابعاد فروچاله (متر)			مشخصات چاههای کف کنی شده		ملاحظات
		عمق محیط	عمق چاه (متر)	میزان حفاری در سنگ (تر)	تعداد حفره‌ها مشاهده شده ضمن حفاری در سنگ بستر	زمان کف شکنی	
S1	1371	104	1/5	75	65	2	گاز دار
S2	1376	34	2	75	65	2	گاز دار
S3	1375	13	1/5	85	35	3	گاز دار
S4	1373	48	2	85	35	3	گاز دار
S5	1373	65	15	85	35	3	گاز دار
S6	1377	18	7	70	30	2	گاز دار
S7	1378	14	5	70	30	2	کمی گاز
S8	1375	62	0/8	100	80	3	گاز دار
S9	1376	23	2/5	100	80	3	گاز دار
S10	1375	19	4/5	45	28	1	کمی گاز
S11	1375	63	2/5	45	28	1	کمی گاز
S12	1378	39	1/5	100	64	3	کمی گاز
S13	1373	65	20	155	50	4	بدون گاز
S14	1373	50	1/5	155	50	4	بدون گاز
S15	1381	48	30	130	30	2	بدون گاز
S16	1376	72	18	130	30	2	بدون گاز
S17	1374	26	3/5	120	30	1	بدون گاز
S18	1377	d1= 10* d2=20	0/5	140	42	4	بدون گاز
S19	1378	82	13	140	42	4	بدون گاز

\* شکل این فروچال بیضوی است و d1 و d2 قطرهای آن است.

جدول 3- مقادیر دی‌اکسیدکربن آزاد محلول در آب چاههای نمونه برداری شده و پارامترهای وابسته

مناطق گاز دار	نمونه‌ها	اسیدیته نمونه‌ها در آزمایشگاه (pH)	دماي نمونه‌هاي آب درآزمایشگاه (C°)	دماي آب چاهها (C°)	قلیابیت بی کربناتی (mg/L)	باقیمانده خشک (mg/L)	دی اکسید کربن آزاد محلول براساس دمای نمونه در آزمایشگاه (mg/L)	دی اکسید کربن آزاد محلول براساس دمای آب خروجی چاه (mg/L)
لالجین	A3	6/5	18/8	14/8	338	822	188	200
	A5	5/78	21/9	15/85	768	1035	2100	2300
	A6	7/71	22	15/6	488	678	16	18
	A10	6/26	19	15/6	760	1212	750	800
	A11	6/05	22	14/2	1232	2592	1650	1950
	A17	7/12	18/5	13/3	388	920	55	60
چهار دولی	B3	6/88	19/3	15	590	702	130	140
	B5	6/84	19/4	15/6	626	716	150	165
	B6	6/54	19/7	15/9	1220	1644	470	525
	B10	6/61	19/4	14/8	1512	2636	500	550
	B11	7/48	19/6	14	256	309	15	17
فامین - قهاوند	C1	6/2	23/2	18	1586	1860	1800	1950
	C2	6/25	20/7	16/8	1648	2190	1400	1550
	C3	6/21	20/6	17/2	7110	2350	1700	1800
	C7	6/27	23	18/4	1350	1642	1100	1300
	C8	6/27	22/7	17/8	1404	1672	850	1000
میانگین	لالجین	6/57	20/37	14/89	662/3	1210	793/2	888
	چهار دولی	6/87	19/48	15/06	541/4	1201	253	279/4
	قهاوند	6/24	22/04	17/64	1539/6	1942/8	1370	1520

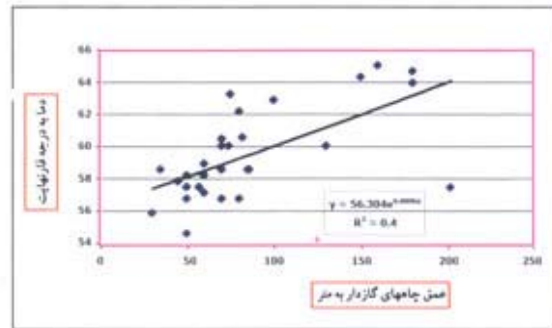
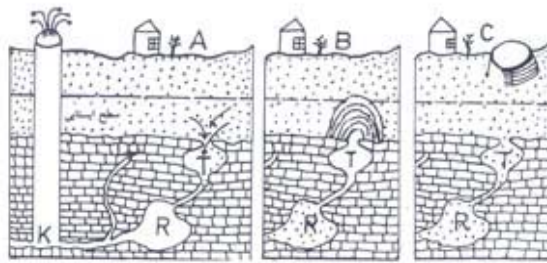
جدول 4- فشاربخشی اولیه دی اکسیدکربن حاکم بر سیستم آب زیر زمینی

منطقه	میانگین دمای صحرایی (C°)	میانگین دی اکسید کربن آزاد محلول (mg/L)	میانگین دما آزمایشگاهی (C°)	با استناد به جدول رابطه CO2 با کربنات کلسیم حل شده			فشار CO2 بر حسب اتمسفر	فشار CO2 اولیه بر حسب اتمسفر یا استناد به جدول مقادیر CO2 حل شده
				بی کربنات محلول (mg/L)	کربنات کلسیم حل شده (ppm)	فشار اولیه		
لالجین	14/89	888	20/37	10/86	543	0/52	0/47	
چهاردولی	15/06	279/4	19/48	8/87	443/5	0/42	0/15	
فامنین - قهاوند	17/64	1520	22/04	25/24	1262	1/3	0/84	

جدول 5- مقادیر شاخصهای پایداری (SI) و اشباع (IS) برای نمونه های اخذ شده از چاههای گاز دار باتوجه به دمای آزمایشگاهی

منطقه	نمونه ها	T.D.S	Fo	PHn	Cca	Alk	Log (Cca x Alk)	Fo x Co	(Log(Cca x Alk) + (Fo x Co))	0.1 x Log TDS	0.1 x (Log TDS) + Ct	PHs	IS	Pre or corr	SI	Pre or corr
لالجین	A3	822	784/65	6/5	416	277	5/06	0/93	5/99	0/29	12/94	6/95	0/45 -	Corr	7/4	Corr
	A5	1035	742/71	5/78	550	630	5/54	1/01	6/55	301/0	12/951	6/40	0/62 -	Corr	7/02	Corr
	A6	678	71/6	7/71	394	400	5/20	1/02	6/22	0/28	12/93	6/71	+1	Pre	7/35	Pre
	A10	1212	66/2	6/26	688	623	5/63	0/94	6/57	0/31	12/96	6/39	0/13 -	Corr	6/52	Corr
	A11	2592	71/6	6/05	846	1010	5/93	1/02	6/95	0/34	12/99	6/04	0/01 +	Pre	6/03	Corr
	A17	920	65/3	7/12	276	318	4/94	0/93	5/87	196/0	12/946	7/08	0/04 +	Pre	7/04	Corr
دشت چهاردولی	B3	702	774/66	6/88	286	483	5/14	0/95	6/09	285/0	12/935	6/85	0/03 +	Pre	6/82	Corr
	B5	716	92/66	6/84	224	513	5/06	0/95	6/01	285/0	12/935	6/93	0/09 -	Corr	7/02	Corr
	B6	1644	46/67	6/54	560	1000	5/75	0/96	6/71	322/0	12/972	6/26	0/28 +	Pre	5/98	Pre
	B10	2636	92/66	6/61	1175	1239	6/16	0/95	7/11	342/0	12/992	5/88	0/73 +	Pre	5/15	Pre
	B11	309	28/67	7/48	90	210	4/28	0/96	5/24	249/0	12/999	7/76	0/28 -	Corr	8/04	Corr
فامنین - قهاوند	C1	1860	39/63	6/2	872	1300	6/05	0/90	6/95	327/0	12/977	6/03	0/17 +	Pre	5/86	Pre
	C2	2190	26/69	6/25	1252	1350	6/23	0/98	7/21	334/0	12/984	5/77	0/48 +	Pre	5/29	Pre
	C3	2350	69	6/21	1187	1402	6/22	0/98	7/20	337/0	12/978	5/79	0/42 +	Pre	5/37	Pre
	C7	1642	73/4	6/27	564	1106	5/80	1/04	6/84	321/0	12/971	6/13	0/14 +	Pre	5/99	Pre
	C8	1672	86/72	6/27	620	1150	5/85	1/03	6/88	322/0	12/972	6/09	0/18 +	Pre	5/91	Pre

Pre= Precipitation , Corr= corrosion



شکل 9- سازوکار تشکیل فروچاله‌های منطقه در رابطه با سنگ کف دشت

شکل 8- نمودار همبستگی دما در برابر عمق در سه منطقه گازدار

جدول (6) تغییرات دما در چاههای گازدار

منطقه	میانگین دمای (°C)	میانگین عمق (m)	اختلاف دمای موجود بین مناطق (°C)			اختلاف دمای بر اثر عمق (°C)			اختلاف دمای مازاد بر اثر عمق (°C)		
			لالجین	چهاردول	فامنین	لالجین	چهاردول	فامنین	لالجین	چهاردول	فامنین
لالجین	14/49	57/17	00	0/5	3/2	00	0/62	2/48	00	0/12	0/72
چهاردول	14/99	76	0/5	00	2/7	0/62	00	1/85	0/12	00	/852 0
فامنین	17/69	132	3/2	2/7	00	2/48	1/85	00	0/72	/852 0	00

### کتابنگاری

اصغری، م.، 1381- بررسی تاثیر خواص هیدروشیمیایی آب زیرزمینی بر ساختمان چاههای کشاورزی دشت آذرشهر، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین.







اکبرزاده خویی، ح.، 1374- تهیه نقشه توپوگرافی و بررسی ویژگیهای زمین‌شناسی غار علیصدر همدان، نوزدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور.

امیری، م.، 1374 - مطالعه پتروگرافی و پترولوژی و مواد معدنی منطقه آلموقلاق (شمال اسدآباد همدان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.

امیری، م.، 1381- بررسی گازدار شدن و ارائه راه حلها در رابطه با چاههای آب استان همدان، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان، نشریه شماره 361 .

ترابی، ت.، 1379- هیدرولوژی زیرزمینی، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان، شماره 331، 362 .

حیدری، م.، خانلری، غ و طالب بیدختی، ع.، 1382- بررسی انحلال پذیری سنگهای کربناته حاشیه نیروگاه همدان. سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ص 189-201.

سعادت، ق.، و محمدی، ب.، 1382- وضعیت تکنوتیکی گودالهای فرونشینی دشت مرکزی همدان، سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ص 286-295.

شریعت، م.، 1378- اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب، انتشارات دانشگاه تهران.

علیاری، ع.، فاطمی عقدا، م.، نخعی، م و بیت الهی، ع.، 1380- بررسی مکانیزم تشکیل فروچالهای دشت مرکزی همدان، دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ص 693-703 .

نگاری، م.، 1319- آزمایشهای شیمیایی آبهای کانی باباگرگ، پایان نامه دکترای داروسازی، دانشکده داروسازی تهران، شماره 62.

هاشمی، ع.، 1381- 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 Kyushu 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.

