

## علل و مکانیسم وقوع فروچاله‌ها در دشت فامنین - کبودرآهنگ

### چکیده

دشت فامنین کبودرآهنگ در شمال استان همدان واقع شده و ضخامت رسوبات سفره آبدار آن به ۷۰-۱۰۰ متر می‌رسد که بهره‌برداری از آن بیش از ظرفیت سفره بوده و سالانه حدود ۳-۲/۵ متر افت در سطح آب سفره وجود دارد. در طی ده سال اخیر حداقل حدود ۱۹ فروچاله کوچک و بزرگ در سطح دشت به وجود آمده که سبب نگرانی ساکنین دشت شده است. بر اساس پیمایشها، بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌های صحرایی مشخصات و مختصات این فروچاله‌ها شناسایی، ثبت و از نتایج حاصله مشخص گردید که وجود حفره‌های انحلالی، مجاری آب، سیستم درز و شکاف در سنگ بستر آهکی و پمپاژ آب موجود در آنها عامل اصلی تولید فروچاله‌های منطقه بوده است. عواملی چون ماسه‌شویی لایه‌ها، خروج گاز از چاه‌ها و افت سریع سطح آب زیرزمینی نیز در تسریع وقوع فروچاله‌ها دخیل هستند. لذا جهت جلوگیری از پدیده فوق بایستی ۱- از کف‌کنی و حفاری در سنگ بستر خودداری شود، ۲- جهت جلوگیری از ماسه‌شویی چاه‌های آب بایستی از گراول پک مناسب استفاده شود و ۳- تمامی چاه‌هایی که در سنگ بستر حفاری شده و آبدهی بالایی دارند تعطیل شوند.

کلید واژه‌ها: کبودرآهنگ، فامنین، فروچاله، کارست، سنگ بستر، آب زیرزمینی.

### مقدمه

دشت فامنین - کبودرآهنگ بخشی از حوضه قره‌چای واقع در شمال استان همدان است که دارای تراکم جمعیتی بالایی می‌باشد و به عنوان یک سفره آب زیرزمینی، شدیداً

مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. به علت کاهش آبدهی چاه‌های آب، در سالهای اخیر کف کنی و حفاری در سنگ بستر برخی از چاه‌های آب منطقه صورت گرفته است. به دنبال این امر فروچاله‌های بزرگ و کوچکی در مجاورت این چاه‌ها به وجود آمده است که ضمن خسارت به زمینهای کشاورزی و تهدید نیروگاه برق و سایر تأسیسات موجب نگرانی ساکنین منطقه و مسئولین استان شده است.

تا سال ۱۳۷۹ حدود ۱۱ فروچاله در سطح دشت مذکور رخ داده است که تا تابستان ۱۳۸۲ تعداد آنها حداقل به ۱۹ مورد رسیده است (علیاری و همکاران). همچنین در مجاورت فروچاله‌ها و یا در فاصله‌های 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 گاهی گازدار می‌باشد.

امیری (۱۳۸۱) گاز اصلی موجود در این چاه‌ها را دی اکسید کربن گزارش نموده و اظهار داشته است که مقدار این گاز در منطقه قهاوند- فامنین به بیش از ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر می‌رسد (امیری، ۱۳۸۱). دی اکسید کربن با منشأ جوی در آب باران و آبهای سطحی و با منشأ هیدروترمالی و پنوماتولیتی در آبهای زیرزمینی حل شده است و محیط را اسیدی می‌نماید. مهمترین و اصلی‌ترین عامل انحلال سنگهای کربناته محسوب می‌گردد. دی اکسید کربن با منشأ جوی بر تشکیلات آهکی اثر نموده و سبب ایجاد سیستم برون کارست می‌شود ولی به علت مقدار کم بر تشکیلات آهکی مدفون شده در زیر رسوبات اثر قابل ملاحظه‌ای ندارد و سیستم درون کارست توسط دی اکسید کربن با منشأ درونی حاصل می‌گردد (ترابی، ۱۳۷۹). مقدار دی اکسید کربن آزاد محلول در آبهای جوی اندک است و مقادیر بیشتر از ۱۰ میلی گرم بر لیتر و به خصوص اگر از ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر بیشتر باشد ناشی از فعالیت فازهای پنوماتولیتی و هیدرو ترمالی می‌باشد (Moore, 1939; Standard method committee, 1990). اندیس اشباع و اندیس پایداری دو شاخص مهم در تشخیص توانایی آبها برای حمله به کربناتها و یا میزان اشباعیت آنها از یون کلسیم می‌باشد. هنگامی که مقادیر این اندیسها به ترتیب مثبت و کمتر از شش باشد مفهومش این است که آب حاوی دی اکسید کربن به سنگ کربناته حمله نموده و خوردگی و انحلال به وقوع پیوسته است و شرایط فوق اشباع برای یون کلسیم محلول در آب به وجود آمده است (شریعت، ۱۳۷۸).

امیری، آبهای مناطق فروچاله‌های همه کسی را آنالیز نموده و با محاسبه این اندیسها اظهار داشته که سنگ آهک منطقه مورد هجوم آب دی اکسید کربن دار قرار گرفته و به شدت انحلال حاصل نموده است (امیری، ۱۳۸۱). تشکیلات کربناته‌ای که میکرو کریستالین و ضخیم لایه بوده است و دارای سیستم درز و شکاف به همراه ناودیسها و طاقدیسهای ملایم و میان لایه‌های رسی - ماری هستند برای توسعه پدیده کارستی فیکاسیون بسیار مستعد می‌باشند (ترابی، ۱۳۷۹). در ناحیه اولاندو و ایالات متحده حداقل ۱۴۰ فروچاله بین سالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۸۶ تشکیل شده است (William, 1992).

بر اساس مطالعات انجام شده در منطقه آریزونا، فرونشستها به دو صورت سریع<sup>۱</sup> و آهسته<sup>۲</sup> اتفاق می‌افتند. حرکات آهسته در مناطق دانه ریز رسی که از حالت اشباع خارج شده و تحت نیروی وزن لایه تراکم می‌یابند به وجود آمده و حرکات سریع بیشتر در مناطقی با سنگ کف کارستی رخ داده و به عنوان فروچاله<sup>۳</sup> معروفند. در این سری مطالعات از تخلیه آب زیرزمینی، استخراج گاز و نفت، حرکات سنگ در عملیات معدنی و زهکشی زمینهای لجنی و ماندابی به عنوان عوامل اصلی وقوع فروچاله‌ها یاد شده است (Pewe, Troy, 1990; Waltham, 1989).

علیاری (۱۳۸۰) در مطالعه فروچاله‌های همدان با بررسی هیدروگراف واحد، میانگین تقریبی افت سطح آب را در یک دوره ۹ ساله حدود ۳ متر در سال برآورد نموده و عامل اصلی تشکیل این فروچاله‌ها را افت شدید سطح آب دانسته است و برای تأیید آن اظهار نموده که محل تشکیل فروچاله‌ها بر محل تلاقی مخروط افت چاه‌ها واقع گردیده است (علیاری و همکاران). حیدری (۱۳۸۲) با بررسی میکروسکوپی مقاطع نازک و آزمایش انحلال‌پذیری توسط دستگاه سیرکولاسیون میزان تخلخل و میانگین ثابت سرعت انحلال سنگهای کربناته منطقه مورد مطالعه را حدود  $1/28 \times 10^{-4}$  m/s برآورد کرده است و اظهار نموده که این تشکیلات از استعداد بالایی برای انحلال‌پذیری برخوردار می‌باشند (حیدری و همکاران، ۱۳۸۲). اکبرزاده خوبی (۱۳۷۴) با بررسی محدوده غار علیصدر واقع در بخش غربی دشت عنوان کرده است که هیچ پدیده کارستی سطحی و مشخصی دیده نمی‌شود ولی در درون غار نشانه‌های زیر سطحی متعددی همچون استلاکمیت، استلاکتیت

1. sudden subsidence.

2. slow subsidence.

3. sinkhole.

و پلانته مشاهده می‌گردد (اکبرزاده‌خویی، ۱۳۷۴). سعادتی و محمدی (۱۳۸۲) با مطالعه تکتونیک منطقه فروچاله‌های همدان بیان داشته که پراکندگی گودالهای فرونشینی بی‌نظم نبوده بلکه با محور عبور گسلهای منطقه همخوانی داشته است و از روند آنها تبعیت می‌کنند (سعادتی، محمدی، ۱۳۸۲). هاشمی (۱۳۸۱) با بررسی لوگهای حفاری در پیرومترهای اکتشافی و چاه‌های بهره‌برداری، ضخامت آبرفت قرار گرفته بر روی سنگ بستر را بین ۱۰ تا ۱۵۰ متر برآورد نموده است (هاشمی، ۱۳۸۱). سیب<sup>۴</sup> و همکارانش (۲۰۰۰) در مقاله خویش درباره استفاده از حرارت ژئوترمالی آبهای تشکیلات تریاس و ژوراسیک آلمان عنوان نموده‌اند که حدود ۳ تا ۱۰ درصد حجمی آبهای منطقه از گاز تشکیل شده است که بیش از ۵۷ تا ۹۴ درصد آن متعلق به گاز دی اکسیدکربن است (Seibt. et al, 2000).

امیری (۱۳۷۴) تشکیلات زمین‌شناسی آلموفلاق در مجاور مناطق گازدار چهاردولی را مورد مطالعه قرار داده است و با استناد به وجود کانیهای اسکورلیت، پستاسیت، پرهنیت، ولاستونیت و ... و نتایج آنالیز عناصر کمیاب اظهار نموده است که فازهای پنوماتولیتی و هیدرو ترمالی متعدد و غنی از آهن و دی اکسید کربن به سیستم خاک، آب و سنگ منطقه وارد شده است. به عقیده امیری (۱۳۸۱) وجود بقایای چشمه‌های آبگرم و تراورتن‌های منطقه دینگله کهریز و تراورتن‌های قروه، کانیهای گالن در برخی نقاط پیرامون منطقه فرو چاله‌ها و وجود گاز در چاه‌های منطقه و مناطق پیرامون نشانه فعالیت محلولهای پنوماتولیتی و هیدروترمالی گاز دار در زمان گذشته و حال است و بر اثر همین فعالیتها معادن آهن وسیعی در منطقه حاصل شده است (امیری، ۱۳۷۴ و ۱۳۸۱). همچنین، نگاری (۱۳۱۹) با آنالیز آب پنج چشمه آب معدنی باباگرگر واقع در شمال دشت چهاردولی و غرب منطقه لالچین و تجزیه و تحلیل آنها وجود گاز دی اکسید کربن، هیدروژن سولفور و آمونیاک را در این چشمه‌ها شناسایی و گزارش نموده است (اصغری، ۱۳۸۱).

اصغری مقدم (۱۳۸۱) با بررسی چاه‌های آب دشت آذر شهر علت خوردگی تجهیزات درون چاهی منطقه را حضور دی اکسید کربن آزاد محلول در آب گزارش

نموده است (صغری، ۱۳۸۱). همچنین امیری (۱۳۸۱) در بررسی علت خوردگی تجهیزات مناطق گازدار استان همدان با آنالیز شیمیایی آبهای منطقه وجود مقادیر بالای دی اکسید کربن آزاد محلول، سولفات و آهن فریک در آب را از عوامل خورنده تجهیزات ذکر نموده است. در این تحقیق ضمن معرفی مشخصات فروچاله‌های منطقه به شرایط ویژه زمین‌شناسی و سایر عوامل مؤثر در تشکیل فروچاله‌ها اشاره و راهکارهای مناسب جهت کاهش نرخ وقوع آنها ارائه می‌شود.

### روش تحقیق

این بررسی و پژوهش بر اساس مشاهدات، اندازه‌گیری‌ها، تجزیه و تحلیل صحرایی استوار می‌باشد که ابتدا مختصات جغرافیایی فروچاله‌ها توسط دستگاه G.P.S و سپس ابعاد (محیط، قطر و عمق) و شکل آنها اندازه‌گیری و شناسایی شد و چاه‌هایی که در زمان وقوع فروچاله‌ها دچار تحول (گل‌آلودگی) شده بودند (چاه‌های وابسته) شناسایی و مختصات آنها تعیین گردید.

همچنین پارامترهایی همچون میزان متراژ حفاری در سنگ کف برای چاه‌های وابسته، وجود یا عدم وجود حفرات در هنگام حفاری، زمان حفاری و زمان وقوع فروچاله‌ها، میزان آبدهی، ماسه‌دهی و گازدهی چاه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. علاوه بر آن وضعیت لایه‌های رسوبی و سنگ کف سفره آب زیرزمینی از نظر ضخامت، دانه‌بندی، آثار و نشانه‌های کارستی (کانیونها، حفرات و ..) با توجه به اطلاعات حفاری پیزومترها، چاه‌ها و بیرون‌زدگی‌های سنگی و ... مشخص و تعیین گردید و سرانجام علل و مکانیسم وقوع فروچاله‌ها بر اساس نتایج حاصل از شکل، وضعیت گل‌آلودگی، عمق و زمان وقوع فروچاله‌ها شناسایی و راه‌حلهای کاهش نرخ وقوع آنها در منطقه ارائه گردید.

### موقعیت جغرافیایی

فروچاله‌های منطقه در اطراف شهر فامنین در فاصله حدود ۷۰-۶۰ کیلومتری شهر همدان واقع شده‌اند مختصات جغرافیایی فروچاله‌ها و چاه‌های کف‌کنی شده‌ای که آب آنها در زمان وقوع فروچاله‌ها شدیداً گل‌آلود شده است توسط دستگاه G.P.S برداشت و در جدول (۱) درج شده است.

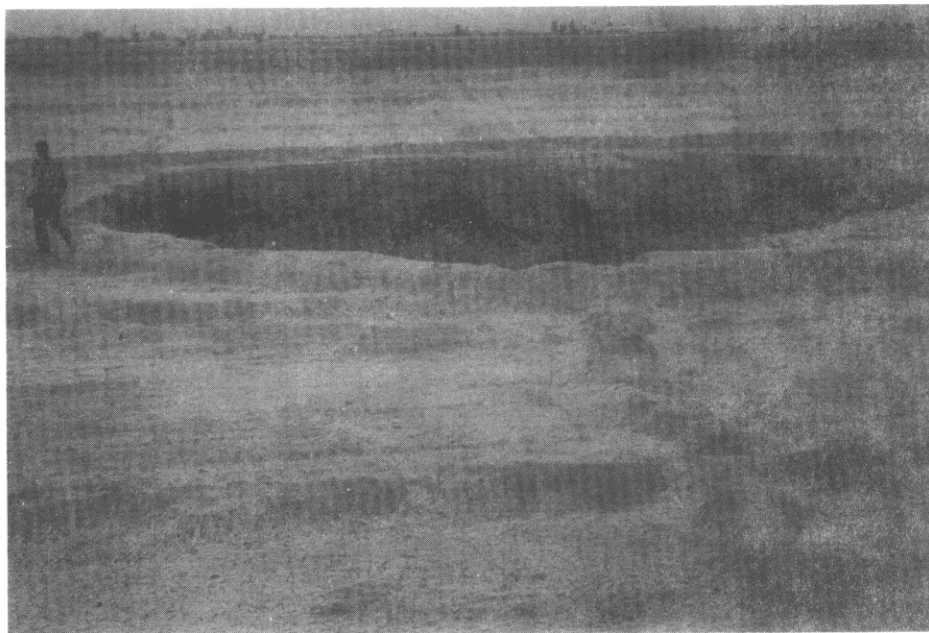
جدول ۱ مختصات فروچاله‌ها و چاه‌های کف کنی شده (همزمان با وقوع فروچاله گل آلود شده)

ردیف فروچاله	مختصات فروچاله‌ها				مختصات چاه‌های کف کنی شده	
	روستای نزدیک	عرض شمالی	طول شرقی	عرض شمالی	طول شرقی	
S1	همه کسبی	۳۵-۰۱-۱۷/۳	۴۸-۵۷-۵۵/۶	۴۸-۵۷-۱۱	۴۸-۵۷-۵۱/۶	
S2	همه کسبی	۳۵-۰۱-۱۴/۶	۴۸-۵۷-۵۸/۷	۴۸-۵۷-۱۱	۴۸-۵۷-۵۱/۶	
S3	همه کسبی	۳۵-۰۰-۱۷	۴۸-۵۶-۵۷/۳	۳۵-۰۰-۲۶/۷	۴۸-۵۷-۰۲	
S4	همه کسبی	۳۵-۰۰-۱۲/۴	۴۸-۵۶-۵۶/۵	۳۵-۰۰-۲۶/۷	۴۸-۵۷-۰۲	
S5	همه کسبی	۳۵-۰۰-۱۰/۶	۴۸-۵۶-۵۳/۱	۳۵-۰۰-۲۶/۷	۴۸-۵۷-۰۲	
S6	همه کسبی	۳۵-۰۱-۰۷/۱	۴۸-۵۷-۴۶/۵	۳۵-۰۱-۰۷/۴	۴۸-۵۷-۴۵/۳	
S7	همه کسبی	۳۵-۰۱-۰۶/۹	۴۸-۵۷-۴۵/۳	۳۵-۰۱-۰۷/۴	۴۸-۵۷-۴۵/۳	
S8	همه کسبی	۳۵-۰۱-۴۲/۲	۴۸-۵۸-۰۲/۳	۳۵-۰۱-۳۸/۸	۴۸-۵۷-۵۷/۸	
S9	همه کسبی	۳۵-۰۱-۳۵	۴۸-۵۸-۰۲/۱	۳۵-۰۱-۳۸/۸	۴۸-۵۷-۵۷/۸	
S10	همه کسبی	۳۵-۰۲-۰۱/۹	۴۸-۵۷-۴۰/۶	۳۵-۰۱-۵۵	۴۸-۵۷-۴۰/۱	
S11	همه کسبی	۳۴-۰۱-۴۳/۵	۴۸-۴۷-۳۹/۲	۳۵-۰۱-۵۵	۴۸-۵۷-۴۰/۱	
S12	همه کسبی	۳۵-۰۱-۵۹/۳	۴۸-۵۸-۱۶/۶	۳۵-۰۱-۵۹/۲	۴۸-۵۸-۰۶/۶	
S13	جهان آباد	۳۵-۰۴-۴۴	۴۸-۵۸-۳۴/۴	۳۵-۰۴-۳۶/۶	۴۸-۵۸-۳۵/۲	
S14	جهان آباد	۳۵-۰۴-۳۶/۸	۴۸-۵۸-۳۵/۲	۳۵-۰۴-۳۶/۶	۴۸-۵۸-۳۵/۲	
S15	کردآباد	۳۵-۰۷-۰۰/۶	۴۸-۴۷-۳۲/۹	۳۵-۰۷-۲۰/۷	۴۸-۴۷-۵۳/۱	
S16	کردآباد	۳۵-۰۷-۲۱/۲	۴۸-۴۸-۰۱/۴	۳۵-۰۷-۲۰/۷	۴۸-۴۷-۵۳/۱	
S17	خانی آباد	۳۵-۱۰-۱۸/۲	۴۸-۴۵-۰۹/۰	۳۵-۱۰-۱۶/۲	۴۸-۴۵-۰۶/۳	
S18	نوآباد	۳۵-۰۷-۱۱/۳	۴۸-۴۶-۲۹/۷	۳۵-۰۷-۰۹/۹	۴۸-۴۶-۳۲/۵	
S19	نوآباد	۳۵-۰۷-۴۲/۲	۴۸-۴۶-۱۹/۲	۳۵-۰۷-۰۹/۹	۴۸-۴۶-۳۲/۵	

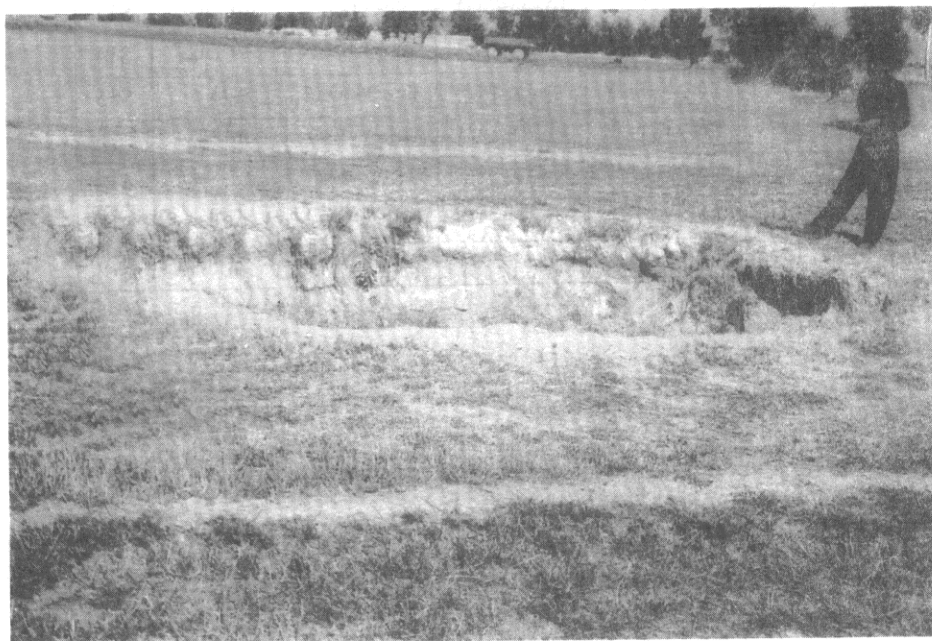
## نتایج و بحث

### ۱. مشخصات فروچاله‌ها

از آنجایی که شکل فروچاله‌ها، زمان وقوع آنها نسبت به زمان فعالیت چاه‌های کف کنی شده، نوع چاه‌ها و عمق حفاری دارای اهمیت ویژه‌ای جهت شناسایی مکانیسم و عوامل ایجاد کننده آنها می‌باشد، لذا مشخصات مذکور به همراه ابعاد کلیه فروچاله‌هایی که در پیمایش‌های صحرایی شناسایی گردیده‌اند در جدول ۲ ارائه شده است و در شکل ۱ تصاویر دو نمونه از فروچاله‌های دشت نشان داده شده است.



الف: فروچاله جهان آباد (S<sub>13</sub>)



ب: فروچاله همه کسی (S<sub>9</sub>)

شکل ۱ تصاویر دو نمونه از فروچاله‌های دشت

جدول ۲ مشخصات فروچاله‌ها و چاه‌های وابسته (همزمان با وقوع فروچاله گل آلود شده است)

مشخصات چاه‌های کف کنی شده					مشخصات فروچاله			
ملاحظات	زمان کف کنی	تعداد حفره ضمن حفاری در سنگ بستر	میزان حفاری در سنگ (متر)	عمق چاه (متر)	عمق (متر)	محیط (متر)	زمان وقوع فروچاله	شماره فروچاله
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

\* شکل این فروچاله بیضوی است و  $d_1$  و  $d_2$  قطرهای آن است.

## ۲. وضعیت ویژه زمین شناسی

### الف- رسوبات آبرفتی

ضخامت رسوبات آبرفتی دشت بطور متوسط حدود ۷۰-۱۰۰ متر است که در حوالی روستای همه کسی به حدود ۲۰ متر و در حواشی روستای جهان آباد به بیش از ۱۲۰ متر می‌رسد. این رسوبات از لایه‌هایی با دانه‌بندی متفاوت تشکیل شده‌اند. بر اساس اطلاعات حاصل از چاه‌های حفاری شده، لایه سطحی از رس و سیلت و پس از آن رسوبات شنی، ماسه‌ای و سیلتی تا عمق ۶۰ متری قرار گرفته است و با افزایش عمق همین وضعیت تکرار می‌گردد. یعنی از عمق ۶۰ تا حدود ۷۵ متری رسوبات دانه ریز رسی و سیلتی و رسوبات ماسه‌ای و یا شنی و ماسه‌ای وجود دارد و سرانجام در عمق حدود ۱۰۰



متری سنگ آهک و یا آهک ماسه‌ای - مارنی به‌عنوان سنگ بستر منطقه می‌باشد. در بسیاری از نقاط و به خصوص در مناطقی که فروچاله‌ها اتفاق افتاده‌اند، لایه‌های ماسه‌ای با دانه‌بندی جور شده وجود دارد.

### ب- سنگ آهک کارستی

در تمامی نقاطی که فروچاله‌ها به وقوع پیوسته‌اند، سنگ کف دشت از آهک الیگومیوسن (تشکیلات قم) تشکیل شده است. در اطراف روستای همه کسی بیرون زدگی‌هایی از این تشکیلات به صورت تپه و ماهور وجود دارد که از کربنات کلسیم و میکروفسیل تشکیل شده‌اند شکل (۲) تصویری از این سنگها را نشان می‌دهد. در این سنگها سیستمهای درز و شکاف با جهات N110 و N170 وجود دارد و در بسیاری از حفاری‌ها وجود حفره‌های انحلالی و مجاری زیرزمینی در آنها شناسایی شده است.



شکل ۲ تشکیلات آهک کارستیکی منطقه

در حوالی روستای احمدآباد که ضخامت رسوبات کم است بر اثر شستشوی رسوبات فوقانی یک مجرای تغذیه‌ای بین سنگ کف و سطح زمین به وجود آمده که روستاییان در

فصل زمستان آب رودخانه قره‌چای را به داخل آن منحرف نموده‌اند. آب به راحتی در این مجرا نفوذ کرده و سیستم کارست و سفره آب زیرزمینی را تغذیه می‌نماید.

### ۳. خصوصیات ویژه چاه‌های آب

#### الف - ماسه دهی چاه‌ها

در اغلب چاه‌های آب منطقه همراه با آب خروجی ماسه وجود دارد به طوری که در کف کانالها و حوضچه چاه‌ها، سالیانه چندین تن ماسه نهشته می‌گردد. پدیده ماسه‌شویی ناشی از وجود لایه‌های رسوبی ماسه‌دار و مناسب برای حرکت در اثر مکش و عدم وجود گراول پک<sup>۵</sup> با دانه‌بندی مناسب در جدار چاه‌ها می‌باشد. این ماسه‌شویی موجب کاهش استحکام رسوبات باقیمانده می‌شود.

#### ب - آبدهی چاه‌ها

در اثر بهره‌برداری بیش از حد و افت ۴۵ متری سطح آب زیرزمینی در طی ۲۵ سال اخیر، میزان آبدهی چاه‌های منطقه شدیداً کاهش یافته است. کشاورزان با مجوز امور آب استان همدان اقدام به کف‌کنی و عمیق‌سازی چاه‌ها و یا حفر چاه‌های جدید با عمق زیاد در مجاور چاه‌های قدیمی نموده‌اند. به طوری که در برخی نقاط بیش از ۵۰ متر سنگ بستر را حفاری کرده‌اند. در هنگام حفاری در برخی از چاه‌ها، حفره‌های انحلالی و غار مانند و مجاری آبدار مشاهده شده است. به همین خاطر این چاه‌ها دارای آبدهی زیادی بوده و در طی چند سال اخیر از آبدهی آنها کاسته نشده است ولی برخی از چاه‌ها با وجود عمق زیاد، هرگز به مجاری و حفره‌های کارستیکی برخورد ننموده است و افزایشی در میزان آبدهی آنها به وجود نیامده است.

#### ج - گل آلودگی در برخی از چاه‌ها هنگام وقوع فروچاله

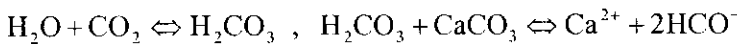
در هنگام وقوع تمامی فروچاله‌ها، یکی از چاه‌های آب مجاور شدیداً گل آلود شده است. این گل آلودگی در چاه‌هایی مشاهده گردیده است که در سنگ کف حفاری شده‌اند و از آبدهی بالایی برخوردار هستند. در جدول (۱) مختصات این چاه‌ها آمده است. در فرونشست جهان‌آباد (S<sub>۱</sub>) چاه مربوطه حداقل تا ۲۴ ساعت شدیداً گل آلود و حتی در فرونشست همه‌کسی (S<sub>۷</sub>)، ابتدا چاه شدیداً گل آلود شد و سپس دیواره‌های آن

5. gravel pack.

فرو ریخت و در نهایت پر گردید. همچنین پس از وقوع فروچاله‌ها، بلافاصله اینطور احساس شده که آب از یک سمت به سمت دیگر فروچاله در حرکت بوده و جهت حرکت بسوی چاه آب مورد بهره‌برداری بوده است.

#### د- گازدهی برخی از چاه‌ها

تعدادی از چاه‌های آب منطقه که در آهک کارستی واقع شده‌اند دارای جوششی از گاز می‌باشند و در برخی از آنها گاز خروجی سوزنده و تند است و حتی در حالتی که چاه خاموش است گاز از آن خارج می‌شود و مزه آب آنها نیز تند و سوزنده است. در حوضچه‌ها و مسیر کانالهای این چاه‌ها، ته‌نشینهای ریز و زبری از کربنات کلسیم به شکل تراورتن به وجود آمده است و نشان می‌دهد که بخشی از گاز چاه‌ها دی‌اکسید کربن  $CO_2$  می‌باشد. مکانیسم آن به این شکل است که ابتدا آب با  $CO_2$  حاصل از فعالیتهای درونی زمین ترکیب می‌شود و اسید ضعیفی را تشکیل می‌دهد که می‌تواند کربنات کلسیم را در آب حل نماید و یون کلسیم و بی کربنات را تشکیل دهد که توسط آب زیرزمینی حمل می‌گردد و هر گاه به عللی فشار وارد بر آب کاهش یابد مثلاً آب زیرزمینی به غارها برسد و یا توسط حفر چاه، فشار کاهش یابد. گاز خارج می‌گردد و کربنات کلسیم مجدداً ته‌نشین می‌شود یعنی واکنشهای زیر انجام می‌شود:



از جمله گازهای دیگری که احتمالاً در این چاه‌ها وجود دارد گازهای گوگرد دار همچون  $SO_2$  و  $SO_3$  می‌باشد. بوی تند و سوزنده گاز در برخی از چاه‌ها و وجود رنگ زرد مایل به قهوه‌ای در مسیر کانال برخی از چاه‌ها، گویای همچون وضعیتی می‌باشد.

#### ۴. شکل فروچاله‌ها

شکل اغلب فروچاله‌های دشت در سطح افقی دایره‌ای بوده است که گویای ضخامت نسبتاً زیاد رسوبات و خالی شدن آب از زیر لایه رسوبی توسط مجاری کانال مانند در سنگ کف می‌باشد. گاهی اوقات شکل بیضوی و ... نیز مشاهده می‌گردد که حاکی از وجود شکافهایی در مرز سنگ کف و رسوبات می‌باشد. شکل اغلب فروچاله‌هایی که تازه تشکیل گردیده‌اند در حالت عمودی همانند یک مخروط ناقص می‌باشد که قاعده آن رو به داخل زمین قرار گرفته است. یعنی اگر از فروچاله‌ها مقاطع افقی در اعماق مختلف رسم

نمائیم قطر دواير در اعماق بیشتر می‌شود. این امر نشان می‌دهد که رسوبات به صورت کماني ریزش نموده‌اند و هرچه زمان می‌گذرد و سن فروچاله‌ها بیشتر می‌شود حاشیه آنها ریزش نموده و شکل استوانه‌ای به خود می‌گیرند و عمق آنها تا حدودی کاهش می‌یابد. البته بعداً بر اثر شستشوی‌های ادامه‌دار، دوباره به تدریج بر عمق فروچاله‌ها افزوده می‌شود.

### ۵. زمان وقوع فروچاله‌ها

تا زمانی که چاه‌های دشت کم عمق و تنها لایه رسوبی منطقه را قطع کرده بودند هیچ فروچاله‌ای به وجود نیامده بود بلکه فروچاله‌های منطقه پس از کف کنی چاه‌ها و حفاری در سنگ بستر اتفاق افتادند. اغلب آنها در حدود ۶ ماه تا چند سال پس از حفر چاه‌های وابسته به وجود آمده‌اند و بنابراین سن فروچاله‌ها جوان‌تر از چاه‌ها و محدود به ۱۰ سال اخیر می‌باشند.

### ۶. مکانیسم تشکیل فروچاله‌ها

قبل از بیان مکانیسم وقوع فروچاله‌ها، بهتر است چندین نکته و مطلب در مورد فروچاله‌ها، چاه‌های آب مجاور و سنگ بستر منطقه یادآوری نماییم.

۱- همه فروچاله‌ها در مناطقی با سنگ بستر کارسنی قرار گرفته‌اند.

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

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 نشده است.

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

۵- همه فروچاله‌ها حداقل شش ماه بعد از حفاری و فعالیت چاه‌ها به وجود آمده‌اند.

۶- در هنگام وقوع پدیده فرونشست برخی از چاه‌هایی که در سنگ کف حفر شده

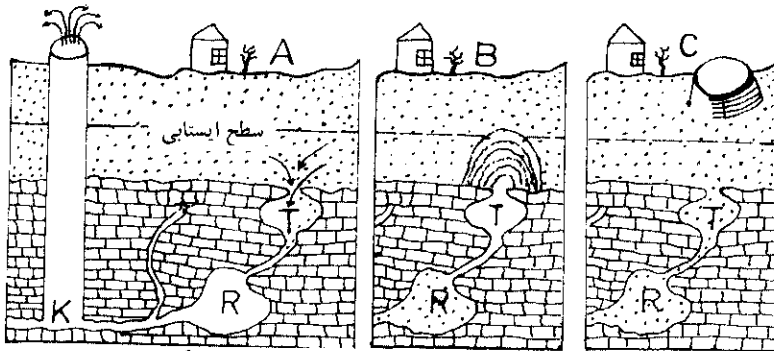
و در مجاورت فوچاله قرار داشته برای مدت چندین ساعت گل آلود گشته‌اند.

۷- بلافاصله بعد از وقوع پدیده فروچاله، احساس شده که آب از یک طرف فروچاله به پهلوی مقابل و رو به سوی چاه وابسته در حرکت بوده است. بر اساس مطالب و گفته‌های فوق و شکل (۳) مکانیسم تشکیل فروچاله‌های منطقه به طور خلاصه و به شرح زیر بیان می‌گردد:

عمل فرونشینی در منطقه خیلی سریع است و در عرض چند دقیقه همراه با ریزش سطحی و حتی ایجاد حالتی شبیه به گردباد صورت می‌گیرد. همانطوری که قبلاً ذکر گردید در برخی نقاط در داخل و سطح سنگ کف حفره‌های غار مانند و مجاری آب وجود دارد. وقتی چاه آب به این حفرات 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 آنجایی که لایه آبرفت فوقانی دارای آب می‌باشد تحت فشار هیدرواستاتیکی، 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. 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 شکل همانند شکل (B-۳) حاصل می‌شود. از آنجایی که به طور مداوم رسوبات شسته می‌شوند و حفره وسیع‌تر می‌شود و فشار هیدرواستاتیکی آب نیز وجود دارد به طور مرتب ریزشهای کمانی ادامه می‌یابد. هر چه ناپایداری لایه‌های رسوبی فوقانی بیشتر باشد عمل 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 می‌نماید عمل ماسه شویی در لایه‌های رسوبی است که به علت عدم وجود گراول یک مناسب در جدار چاه‌ها اتفاق می‌افتد. در اثر فروریزشهای متوالی، فاصله بین سطح زمین و سقف حفره‌های کمانی شکل کاهش می‌یابد. سرانجام عدم پایداری و مقاومت به عنوان عامل چکاندن ماسه عمل می‌کند و گسیختگی در خاک سطحی را ایجاد می‌نماید و موجب فرو ریزش لایه سطحی می‌گردد. شکل (C-۳) این وضعیت را نشان می‌دهد. معمولاً فرو چاله‌های ایجاد شده در سطح دشت دایره‌ای شکل می‌باشند و هر چه عمیق‌تر می‌شوند شعاع دایره بیشتر می‌شود. این حالت نشانه فروریزشهای کمانی پی‌درپی می‌باشد.

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 نموده و فشار و حرکت آب به داخل سنگ کف را تسریع می‌نماید. البته ممکن است هم اکنون بر اثر فروریزشهای

کمانی<sup>۶</sup> در برخی نقاط حفره‌های زیرزمینی در داخل رسوبات ایجاد شده باشد. ولی به علت پایداری لایه‌های سطحی<sup>۷</sup> برای مدت طولانی عمل فروریزش رخ ندهد.



شکل ۳ مکانیسم تشکیل فروچاله‌های منطقه در رابطه با سنگ کف دشت

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

لازم به توضیح است که فروچاله‌های منطقه در محل تلاقی مخروطی افت چاه‌ها قرار نگرفته‌اند. همچنین در هنگام فرونشست برای هر فروچاله، گل آلودگی آب تنها در یک چاه مشاهده شده است. به همین علت افت در محل تلاقی مخروطهای افت تنها عامل اصلی تولید فروچاله در منطقه نمی‌باشد. بر اساس بحث‌های فوق وجود شرایط ویژه زمین‌شناسی همچون ماسه‌شویی در لایه‌های رسوبی، خروج گاز از سیستم آب زیرزمینی و به خصوص وضعیت سنگ کف با داشتن مجاری و حفرات متعدد زمینه را برای وقوع همچون پدیده‌ای مهیا نموده است. هر چاهی که در سنگ کف کارستی حفر گردد و از آبدهی بالایی برخوردار شود به سرعت آب موجود در مجاری را تخلیه می‌نماید و سبب فروریزشهای کمانی در رسوبات و منتهی به ایجاد فروچاله می‌گردد. لذا توصیه می‌گردد که:

۱. از کف کتی چاه‌ها و حفاری در سنگ کف منطقه خودداری و جلوگیری شود.
۲. چاه‌هایی که کف کتی و وارد سنگ بستر شده و دارای آبدهی بالایی می‌باشند بایستی هر چه زودتر تعطیل شوند.

۳. با توجه به اینکه ماسه شویی در لایه‌های رسوبی تا حدی به ناپایداری رسوبات در مقابل فروریزش کمک می‌نماید لذا بهتر است ابتدا دانه‌بندی لایه‌های رسوبی تولیدکننده ماسه مشخص گردد و سپس دانه‌بندی گراول پک و اندازه سوراخ لوله‌های جدار بر اساس دانه‌بندی لایه‌ها و به روش علمی تعیین گردد.

6. arc collapse.

7. hardpen ferricrete.

۴. به طور کلی در حال حاضر بهره برداری از آب موجود در سنگ بستر منطقه فامنین بایستی متوقف شود و تنها هنگامی که آب موجود در سفره رسوبی فوقانی به اتمام برسد می توان از آب کارست منطقه استفاده نمود.

### منابع و مآخذ

۱. اصغری، م (۱۳۸۱)؛ بررسی تأثیر خواص هیدروشیمیایی آب زیرزمینی بر ساختمان چاه‌های کشاورزی دشت آذرشهر، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین.
۲. اکبرزاده‌خویی، ح (۱۳۷۴)؛ تهیه نقشه توپوگرافی و بررسی ویژگی‌های زمین شناسی غار علیصدر همدان، نوزدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور.
۳. امیری، م (۱۳۷۴)؛ مطالعه پتروگرافی و پترولوژی و مواد معدنی منطقه آلموقلاق (شمال اسدآباد همدان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.
۴. امیری، م (۱۳۸۱)؛ بررسی گازدار شدن و ارائه راه‌حلی در رابطه با چاه‌های آب استان همدان، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان، نشریه شماره ۳۶۱.
۵. ترابی، ت (۱۳۷۹)؛ هیدروولوژی زیرزمینی، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان، شماره ۳۳۱، ۳۶۲ص.
۶. حیدری، م، خانلری، 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.
۷. 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.
۸. شریعت، م (۱۳۷۸)؛ اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب، انتشارات دانشگاه تهران.
۹. علیاری، ع. فاطمی عقدا، م. نعمی، م. و بیت‌الهی، ع؛ بررسی مکانیزم تشکیل فروچاله‌های دشت مرکزی همدان، دومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. ص ۶۹۳-۷۰۳.
۱۰. نگاری، موسی (۱۳۱۹)؛ آزمایشهای شیمیایی آبهای کانی باباگرگر، پایان‌نامه دکترای داروسازی، دانشکده داروسازی تهران، شماره ۶۲.
۱۱. 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.
12. Dye, J.F (1958): "Correlaion of the two principal method of calculating The three kinds of alkalinity". J.Amer water works Assoc.50:812.
13. Moore, E.W (1939): "Graphic determination of carbon dioxide and the three forms of alkalinity", J.Amer water works Assoc.31:51.
14. 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.
15. Seibt, A., Haot, P and Naumann, D (2000): " Gas solubility in formation waters of the North German Basin Implication for Geothermal energy recovery", Ptro ceeding word Geothermal congress 2003 Kyushu Tohoku Japan, May 28- jan 10, 2000.
16. Standard method committee (1990): "Standard methods for the examination of water waster part 9000 chemical examination", Volume 1.
17. Waltham, A.C (1989): **Ground subsidence**, Blackie, 202 p.
18. William, L (1992): "Hydrogeologic factors affexting new sinkhole development in the Orlando area". florida, Ground water, Vol.30.No.6.