

## نشانه‌های درون کارست در سنگ بستر منطقه فروچاله‌های همدان

منوچهر امیری، هادی نظری پویا: عضو هیأت علمی پژوهشی  
مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان

تاریخ: دریافت ۸۲/۱۰/۲۱ پذیرش ۸۴/۴/۸

### چکیده

دشت‌های فامنین، کیودرآهنگ و قهاوند در شمال استان همدان واقع شده که ضخامت رسوبات سفره آبدار آن به حدود ۷۰-۱۰۰ متر می‌رسد و در سال‌های اخیر فروچاله‌های بزرگ و خطرناکی در این منطقه به وجود آمده است. بر مبنای حفاری‌های انجام شده در دشت و بیرون زدگی‌های پیرامون آن، سنگ بستر منطقه از آهک‌های الیگومیوسن تشکیل شده و بر اساس بررسی‌های صحرایی، اندازه‌گیری سیستم‌های درز و شکاف، بررسی مقاطع نازک، وضعیت حفاری و آب‌دهی چاه‌ها، نتایج حاصل از آزمایش‌های شیمی آب و برآورد پارامترهایی چون اندیس اشباع، اندیس پایداری، میزان دی‌اکسیدکربن آزاد محلول و فشار اولیه گاز دی‌اکسیدکربن حاکم بر سیستم مشخص می‌شود که سنگ بستر منطقه پدیده کارستیفیکاسیون را تحمل نموده و در آن ساختار درون کارست به وجود آمده که وجود پدیده‌های مطلوبی همچون آب‌دهی زیاد چاه‌های حفر شده در سنگ بستر و پدیده نامطلوبی چون وقوع فروچاله‌ها ناشی از وجود ساخت کارست در سنگ بستر منطقه بوده و برای جلوگیری یا کاهش نرخ وقوع فروچاله‌ها باید از کف‌کنی چاه‌ها در سنگ بستر جلوگیری کرد و چاه‌هایی که در سنگ بستر حفر شده و آب‌دهی زیادی دارند هرچه سریع‌تر تعطیل شوند.

واژه‌های کلیدی: همدان، درون کارست، آب زیرزمینی، فروچاله، دی‌اکسید کربن آزاد محلول

### مقدمه

در ده سال اخیر بیش از ۱۸ فروچاله کوچک و بزرگ در دشت‌های همدان به وجود آمده است که سبب نگرانی اهالی و جلب نظر پژوهندگان برای بررسی ویژگی‌های رسوبی، تکتونیکی و لیتولوژی منطقه شده است. بر مبنای تحقیقات انجام گرفته، به طور کلی فرونشست‌ها به دو صورت سریع و آهسته اتفاق می‌افتند. حرکات آهسته بیشتر در مناطق دانه‌ریزی که از حالت اشباع خارج شده و تحت نیروی وزن لایه تراکم می‌یابند به وجود آمده است، و حرکات سریع بیشتر در مناطقی با سنگ بستر آهک کارستی رخ داده و به فروچاله معروفند [۷]. آهک‌های ضخیم لایه افقی یا قائم با  $\text{CaCO}_3$  بیش از ۹۰٪ و میکروکریستالین بامیان لایه‌های مارنی شرایط مناسبی برای پدیده کارستیفیکاسیون به وجود می‌آورند و مشارکت دی‌اکسیدکربن به عنوان عامل اصلی در انحلال کربنات‌ها و ایجاد پدیده کارستیفیکاسیون شناخته شده و در توسعه برون کارست منشأ آن از اتمسفر و فعالیت‌های بیولوژیک خاک بوده و در درون کارست از فعالیت‌های متامورفیزم، ولکانیسم و یا خروج گاز از ماتو زمین است [۳].

با عنایت به این که گاز دی‌اکسیدکربن عامل اصلی انحلال کربنات‌ها است. حیدری و همکارانش [۴] نمونه‌های مکعبی از سنگ‌های منطقه همه‌کسی و شمال شرق کبودرآهنگ (قلی‌آباد) را در دستگاه سیرکولاسیون و با استفاده از کپسول گاز  $\text{CO}_2$  در PHهای ۵/۵-۶، ۶/۵-۷، ۷-۷/۵ و ۷-۷/۵ مورد آزمایش قرار دادند و در هر PH غلظت یون کلسیم بر حسب زمان تا برقراری حالت اشباع اندازه‌گیری کردند و میانگین ثابت انحلال در منطقه همه‌کسی را برابر با  $1/28 \times 10^{-4}$  m/s و در منطقه قلی‌آباد برابر با  $4/09 \times 10^{-5}$  m/s برآورد کردند، و اظهار داشتند که این مقادیر در مقایسه با ثابت سرعت انحلال آهک‌های مناطق لار ( $2/12 \times 10^{-6}$  m/s) و غار علی‌صدر ( $6/8 \times 10^{-5}$  m/s) نشان‌دهنده پتانسیل انحلال‌پذیری بسیار بالای سنگ‌های آهکی الیگومیوسن این منطقه است نامبرده به کمک مقاطع نازک میکروسکوپی مقدار تخلخل موجود در این تشکیلات را بررسی کرده است. علیاری [۶] در بررسی فروچاله‌های دشت مرکزی همدان با بررسی هیدروگراف واحد، میانگین تقریبی افت سطح آب را در یک دوره ۹ ساله

حدود ۳ متر در سال برآورد کرده و عامل اصلی وقوع این فروچاله‌ها را افت شدید سطح آب دانسته و برای تأیید آن اظهار داشته است که محل تشکیل فروچاله‌ها بر محل تلاقی مخروط افت چاه‌ها واقع شده است. ولی از سیستم کارست درونی در سنگ بستر بحثی نکرده است. همچنین اکبرزاده خویی [۱] با بررسی منطقه غار علی‌صدر واقع در جنوب غربی دشت اظهار داشته که هیچ پدیده کارستی سطحی و مشخصی دیده نمی‌شود، ولی در درون غار نشانه‌های متعددی از کارست زیر سطحی همچون استلاگمیت، استلاکتیت و پلانسه مشاهده می‌شود.

در منطقه بررسی شده، به ویژه در اطراف روستای همه‌کسی فروچاله‌های زیادی به وجود آمده است و چاه‌هایی که در سنگ بستر منطقه حفر شده‌اند حاوی گاز هستند و تجهیزات داخل آن‌ها به شدت خورده و تخریب می‌شود [۲] لذا با توجه به تهدیدهای زیست محیطی و پتانسیل بالقوه خطرزایی در منطقه و تأثیر سنگ بستر در وقوع این پدیده‌ها، ضرورت توجه به بررسی‌های زمین‌شناختی سنگ بستر منطقه امری اجتناب‌ناپذیر است.

### روش تحقیق

برای بررسی هر سیستمی لازم و ضروری است که خصوصیات اجزای تشکیل‌دهنده و پدیده‌های اتفاق افتاده در آن شناسایی، مقایسه و ارزیابی شوند، لذا در این بررسی علاوه بر جمع‌آوری و بررسی کارهای انجام شده و جستجوی اطلاعات از طریق اینترنت، مشخصات سنگ بستر، ترکیب آب چاه‌های گازدار، آب‌دهی و تغییرات چاه‌های مجاور فروچاله‌ها به عنوان اجزای تشکیل‌دهنده سیستم مورد توجه قرار گرفت و با کاوش‌های دقیق صحرایی و تهیه مقاطع نازک و استناد به حفاری‌های انجام شده وضعیت کانی‌شناسی، بافت، تخلخل و ... سنگ بستر شناسایی شد و سیستم‌های درز و شکاف این تشکیلات در بیرون‌زدگی‌ها با کمپاس اندازه‌گیری و دیاگرام گل سرخی آن‌ها ترسیم شد. همچنین موقعیت جغرافیایی و مشخصات فروچاله‌ها و چاه‌های مرتبط با آن‌ها و آثار و نشانه‌های زمان وقوع با متر، دستگاه G.P.S و پرسش از روستاییان اندازه‌گیری و ثبت شد و از چاه‌های گازدار سه منطقه قهواند(همه‌کسی)، لالجین و چهاردولی ۱۶ نمونه آب برداشت و آنالیز شد و با استفاده از ترکیباتی چون باقیمانده

خشک، قلیائیت کربناتی، اسیدیته و دما و به کمک نمودگراف‌ها [۸] و [۹] مقادیر دی‌اکسیدکربن آزاد محلول محاسبه و برآورد شد و سپس به کمک جدول‌های حلالیت گازها [۵] و به روش درون‌یابی میزان فشار  $\text{CO}_2$  اولیه حاکم بر سیستم و همچنین با استفاده از روش محاسباتی [۵] طبق معادلات ۱، ۲ و ۳ مقادیر اندیس‌های اشباع (IS) و پایداری (SI) محاسبه شد و در نهایت با تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشگاهی، صحرایی و داده‌های محاسباتی نشانه‌ها و دلایل وجود ساختار درون کارست در سنگ بستر شناسایی و ارائه گردید.

$$\text{PH}_s = [0.1 \text{ Log (T.D.S) + } C_t] - [\text{Log (} C_{ca} - \text{ALK) + (} F^\circ - C^\circ)] \quad (۱)$$

$$\text{IS} = \text{PH}_n - \text{PH}_s \quad (۲)$$

$$\text{SI} = 2\text{PH}_s - \text{PH}_n \quad (۳)$$

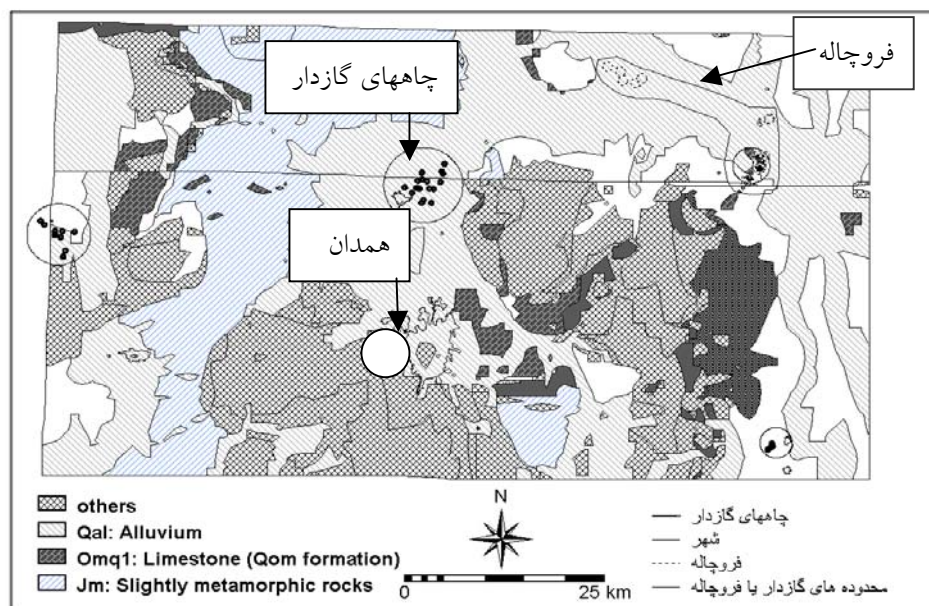
در این معادلات پارامترهای T.D.S,  $C_{ca}$ , ALK,  $F^\circ$ ,  $\text{PH}_n$  و  $\text{PH}_s$  به ترتیب باقیمانده خشک، غلظت کلسیم معادل کربناتی، قلیائیت کل، درجه حرارت به فارنهایت، اسیدیته واقعی و اسیدیته اشباع را نشان می‌دهند. و ضرایب  $C_t$  و  $C^\circ$  در دماهای بیش‌تر از ۷۷ درجه فارنهایت به ترتیب برابر با ۰/۰۰۹۱۵ و ۲/۲۷ و در دماهای کم‌تر معادل ۰/۰۱۴۲ و ۱۲/۶۵ هستند.

## نتایج و بحث

### استعداد و شواهد انحلال‌پذیری سنگ بستر

سنگ بستر منطقه باسن الیگومیوسن از آهک میکروکریستالین تشکیل گردیده و دارای میان لایه‌هایی از مارن و آهک مارنی بوده و ضخیم لایه، دانه‌ریز و دارای کربنات کلسیم بالا و میکروفسیل است و در برخی نقاط در آن‌ها ساخت استیلولیت و کنکرسینون‌های آهکی مشاهده می‌شود. در این تشکیلات سیستم درز و شکاف به طور وسیع در سه امتداد  $N_{130}, N_{50}$  و  $N_{160}$  توسعه یافته و طاقدیس‌ها و ناودیس‌های وسیع و ملایمی به وجود آمده و دشت کبودرآهنگ- فامنین بر روی ناودیس بزرگی از سنگ بستر قرار گرفته است. تشکیلاتی که چنین مشخصاتی را داشته باشند، بهترین استعداد را برای انحلال و پدیده کارستیفیکاسیون دارند. در شکل ۱ وضعیت زمین‌شناسی منطقه و موقعیت چاه‌های گازدار، فروچاله‌ها، دشت‌ها و شهرهای منطقه ارائه شده است.

حال که سنگ بستر منطقه دارای پتانسیل بالقوه‌ای برای انحلال است و بررسی‌های آزمایشگاهی که توسط دی‌اکسیدکربن به عمل آمده است این موضوع را تأیید می‌کند سؤال این است که آیا شواهدی دال بر انحلال و ورود گاز  $CO_2$  به سیستم درز و شکاف سنگ بستر منطقه و ایجاد حفره و ساختار درون کارست وجود دارد یا نه. بررسی مقاطع میکروسکوپی نشان می‌دهد که میزان تخلخل میکروسکوپی در بیرون‌زدگی‌های مرکز دشت که به سنگ بستر اتصال مستقیم دارند نسبت به حاشیه دشت بیشتر بوده و به حدود ۲۵-۲۰ درصد می‌رسد در صورتی که در بیرون‌زدگی‌های پیرامون دشت اندازه حفره‌ها ریزتر و تخلخل میکروسکوپی حدود ۴ درصد است. در جدول ۱ مشخصات میکروسکوپی-پتروگرافی تعدادی از نمونه‌ها برداشت شده از این تشکیلات ارائه شده است.



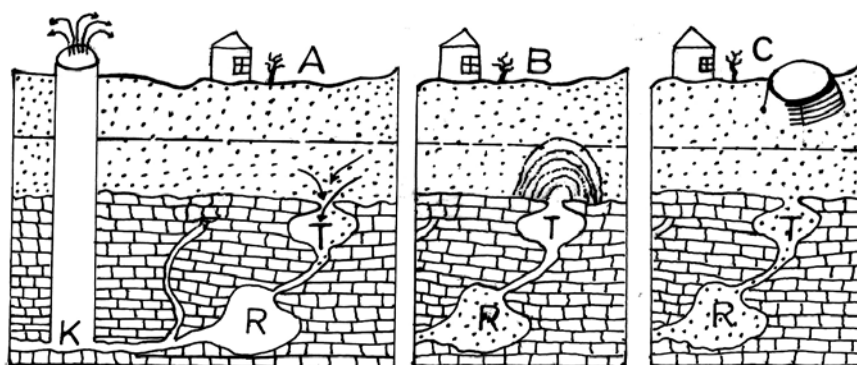
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت فروچاله‌ها و چاه‌های گازدار

جدول ۱- مشخصات پتروگرافی تشکیلات آهکی الیگومیوسن منطقه\* (نمونه‌ها از حیدری ۲۱۳۸)

شماره نمونه	محل نمونه برداری	نام سنگ	نام سنگ	مشخصات میکروسکوپی
H-1*	همه کسی (مرکز دشت)	Biomicrodite	Packestone	۱- تخلخل حدود ۲۵ درصد ۲- ابعاد حفرات درشت
R-1*	قلی آباد (پیرامون دشت)	Biomicrorite	Packestone	۱- تخلخل حدود ۴ درصد ۲- ابعاد حفرات کوچک
Qm-1	قاباخته (پیرامون دشت)	Biomicrorite	Packestone	۱- تخلخل حدود ۷ درصد ۲- اندازه حفرات ریز و متوسط
Qm-2	اورقین (حاشیه دشت)	Biomicrorite	Packestone	۱- تخلخل حدود ۴/۵ درصد ۲- ابعاد حفرات کوچک و دارای اندکی پلت، پلوئید و میکرواسپاری
Qm-3	همه کسی (مرکز دشت)	Biomicrorite	Packestone	۱- تخلخل حدود ۲۳ درصد ۲- ابعاد حفرات درشت همراه اندکی رس، لیمونیت و میکروفسیل

در دشت‌های بررسی شده در اثر بهره‌برداری بیش از حد و افت ۴۵ متری سطح آب زیرزمینی در طی ۲۵ سال اخیر، میزان آب‌دهی چاه‌ها شدیداً کاهش یافته و کشاورزان اقدام به کف‌کنی و عمیق‌سازی چاه‌های منطقه کرده‌اند، و در برخی نقاط بیش از ۵۰ متر سنگ بستر را حفاری کرده‌اند که هنگام حفاری در برخی از این چاه‌ها حفره‌های انحلالی و غار مانند و مجاری آب‌دار مشاهده شده است این چاه‌ها دارای آب‌دهی زیادی بوده و در طی چند سال اخیر علی‌رغم افت شدید در سطح آب زیرزمینی از آب‌دهی آن‌ها کاسته نشده است. همچنین در سطح دشت در ده سال اخیر بیش از ۱۸ فروچاله به وجود آمده که شکل اغلب آن‌ها مخروطی بوده و قاعده آن‌ها به سمت داخل زمین قرار گرفته است؛ یعنی اگر از فروچاله‌ها

مقاطع افقی در اعماق مختلف رسم کنیم قطر دواير در اعماق بيش تر مي‌شود و نشان مي‌دهد که در اثر پمپاژ آب موجود در مجاری و حفره‌های سنگ بستر خالی شده و بر اثر همین پدیده و فشار هیدرواستاتیکی لایه آب‌دار رسوبی، ذرات رسوبات به سوی مجاری حرکت و به صورت کمانی در رسوبات ریزش صورت گرفته و در نهایت فروچاله‌های نوع فرونشستی به وجود آمده است. البته شکل فروچاله‌ها در همه‌کسی که سنگ بستر به سطح زمین نزدیک است تا حدودی بیضوی، شکافی و نامشخص بوده است، و این خود نشانه‌ای از ریزش سقف حفره‌های انحلالی و غارهای زیرزمینی موجود در سنگ بستر بوده و فروچاله‌های نوع ریزشی را به وجود آورده است. در شکل ۲ مقاطع عرضی از چاه آب، مجاری انحلالی، ریزش‌های کمانی و فروچاله‌ها ارائه شده است.



شکل ۲- مجاری انحلالی و چاه آب (A)، ریزش‌های کمانی (B)، مقطع افقی - عرضی فروچاله (C)

لازم به ذکر است که هم‌زمان با تشکیل هر فروچاله، یکی از چاه‌هایی که در سنگ بستر منطقه حفر شده است و آب‌دهی زیاد دارد به شدت گل‌آلود می‌شود و گل‌آلودگی آن برای چندین ساعت ادامه می‌یابد به طوری که در زمان وقوع فروچاله جهان‌آباد چاه وابسته به آن حدود ۲۴ ساعت شدیداً گل‌آلود گردید. همچنین همه فروچاله‌های منطقه حدود ۶ ماه تا چند سال بعد از فعالیت چاه‌های کف‌کنی شده به وجود آمده‌اند. که همگی آن‌ها نشانه‌ای از وجود مجاری متصل‌کننده و حفره‌های انحلالی در سنگ بستر است در جدول ۲ مشخصات و مختصات فروچاله‌ها و چاه‌های وابسته ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات و مختصات فروچاله‌ها و چاه‌های وابسته به آن‌ها  
در دشت‌های قهاوند- فامنین- کبودرآهنگ

مشخصات چاه وابسته				مختصات جغرافیایی فروچاله		ابعاد فروچاله (متر)		زمان وقوع فروچاله
زمان حفر	تعداد حفرات	متراژ سنگ	عمق (متر)	طول شرفی	عرض شمالی	عمق	محیط	
۱۳۷۰	۲	۶۵	۷۵	۴۸°۵۷'۵۵/۶"	۳۵°۰۱'۱۷/۳"	۱/۵	۱۰۴	۱۳۷۱
۱۳۷۰	۲	۶۵	۷۵	۴۸°۵۷'۵۸/۷"	۳۵°۰۱'۱۴/۶"	۲	۳۴	۱۳۷۶
۱۳۷۰	۳	۳۵	۸۵	۴۸°۵۶'۵۷/۳"	۳۵°۰۰'۱۷"	۱/۵	۱۳	۱۳۷۵
۱۳۷۰	۳	۳۵	۸۵	۴۸°۵۶'۵۶/۵"	۳۵°۰۰'۱۲/۴"	۲	۴۸	۱۳۷۳
۱۳۷۰	۳	۳۵	۸۵	۴۸°۵۶'۵۳/۱"	۳۵°۰۰'۱۰/۶"	۱/۵	۶۵	۱۳۷۳
۱۳۷۴	۲	۳۰	۷۰	۴۸°۵۷'۴۶/۵"	۳۵°۰۱'۰۷/۱"	۷	۱۸	۱۳۷۷
۱۳۷۴	۲	۳۰	۷۰	۴۸°۵۷'۴۵/۳"	۳۵°۰۱'۰۶/۹"	۵	۱۴	۱۳۷۸
۱۳۷۴	۳	۸۰	۱۰۰	۴۸°۵۸'۰۲/۳"	۳۵°۰۱'۴۲/۲"	۰/۸	۶۲	۱۳۷۵
۱۳۷۴	۳	۸۰	۱۰۰	۴۸°۵۸'۰۲/۱"	۳۵°۰۱'۳۵"	۲/۵	۲۳	۱۳۷۶
۱۳۷۴	۱	۲۸	۴۵	۴۸°۵۷'۴۰/۶"	۳۵°۰۲'۰۱/۹"	۴/۵	۱۹	۱۳۷۵
۱۳۷۴	۱	۲۸	۴۵	۴۸°۴۷'۳۹/۲"	۳۴°۰۱'۴۳/۵"	۲/۵	۶۳	۱۳۷۵
۱۳۷۶	۳	۶۴	۱۰۰	۴۸°۵۸'۱۶/۶"	۳۵°۰۱'۵۹/۳"	۱/۵	۳۹	۱۳۷۸
۱۳۷۱	۴	۵۰	۱۵۵	۴۸°۵۸'۳۴/۴"	۳۵°۰۰'۴۴"	۲۰	۶۵	۱۳۷۳
۱۳۷۱	۴	۵۰	۱۵۵	۴۸°۵۸'۳۵/۲"	۳۵°۰۰'۴۳/۸"	۱/۵	۵۰	۱۳۷۳
۱۳۷۵	۲	۳۰	۱۳۰	۴۸°۴۷'۳۲/۹"	۳۵°۰۷'۰۰/۶"	۳۰	۴۸	۱۳۸۱
۱۳۷۵	۲	۳۰	۱۳۰	۴۸°۴۸'۰۱/۴"	۳۵°۰۷'۲۱/۲"	۱۸	۷۲	۱۳۷۶
۱۳۷۲	۱	۳۰	۱۲۰	۴۸°۴۵'۰۹/۰"	۳۵°۱۰'۱۸/۲"	۳/۵	۲۶	۱۳۷۴
۱۳۷۶	۴	۴۲	۱۴۰	۴۸°۴۶'۱۹/۲"	۳۵°۰۷'۴۲/۲"	۱۳	۸۲	۱۳۷۸



## شاخص‌های حضور گاز دی‌اکسید کربن و انحلال

در سنگ بستر به علت عمق زیاد، اثر جوی به شدت کاهش می‌یابد و تنها فعالیت‌های درونی می‌تواند  $\text{CO}_2$  کافی را به محیط وارد کند، به خصوص اگر مقدار  $\text{CO}_2$  آزاد محلول در آب به بیش از ۱۰ ppm برسد حضور دی‌اکسید کربن با منشأ درونی الزامی است [۹]. در منطقه بررسی شده (اطراف همه‌کسی و کوزره، دشت چهاردولی و اطراف لالچین) آب برخی از چاه‌ها دارای مزه تند، سوزنده و ترش و گاهی تلخ و گس بوده و ذرات هیدرواکسید و اکسید آهن آن‌ها را همراهی می‌کند و در برخی از آن‌ها گاز نیز از چاه خارج می‌شود که سوزنده و تند است [۲]. با توجه به نتایج آنالیز نمونه‌ها و با استفاده از پارامترهایی چون باقیمانده خشک، اسیدیته، قلیائیت بی‌کربناتی و دمای نمونه‌ها و چاه‌های آب و به کمک نمودارهای موجود [۸] مقادیر دی‌اکسید کربن آزاد محلول در آب چاه‌ها محاسبه شد که میانگین مقادیر آن به همراه میانگین سایر پارامترهای وابسته در جدول ۳ ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که میزان  $\text{CO}_2$  آزاد محلول در آب‌های مناطق گازدار خیلی زیاد بوده و حتی در مناطق گازدار قه‌اوند (اطراف همه‌کسی) به بیش از ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. مقادیر زیاد دی‌اکسید کربن آزاد محلول در آب این چاه‌ها نشان می‌دهد که فشار گاز  $\text{CO}_2$  مرتبط با آب این چاه‌ها بسیار زیاد بوده است. با استفاده از جداول حلالیت گازها و جداول حلالیت کربنات کلسیم بر مبنای حرارت و فشار جزئی [۵] میزان فشار گاز دی‌اکسید کربن وارد بر سیستم آب زیرزمینی منطقه محاسبه و در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که از جدول ۴ مشاهده می‌شود، میزان فشار اولیه گاز دی‌اکسید کربن وارد بر سیستم آب زیرزمینی بسیار زیاد و در منطقه قه‌اوند - فامنین به طور متوسط حدود یک اتمسفر بوده است که این فشار زیاد نشانه‌ای از فعالیت‌های شدید فازهای پنوماتولیتی و گاز دی‌اکسید کربن با منشأ درونی و ورود آن‌ها به آب موجود در سنگ بستر منطقه است.

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

مناطق گاز دار	اسیدیته نمونه‌ها (pH)	دمای آب چاه‌ها (°C)	قلیائیت بی کربناتی (mg/L)	باقیمانده خشک (mg/L)	دی اکسید کربن محلول (mg/L)
لالجین	۶/۵۷	۱۴/۸۹	۶۶۲/۳	۱۲۱۰	۸۸۸
چهاردولی	۶/۸۷	۱۵/۰۶	۵۴۱/۴	۱۲۰۱	۲۷۹/۴
قهاوند	۶/۲۴	۱۷/۶۴	۱۵۳۹/۶	۱۹۴۲/۸	۱۵۲۰

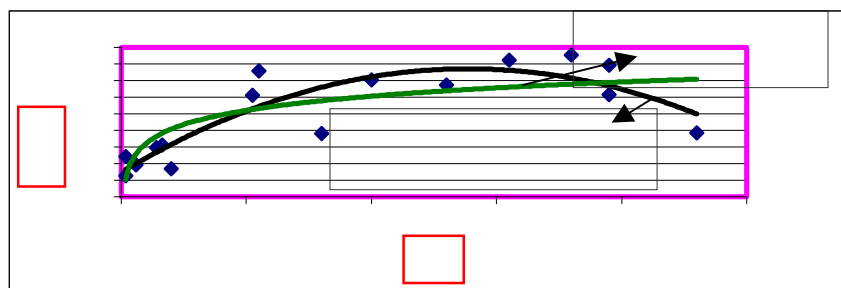
جدول ۴- فشار اولیه دی اکسید کربن حاکم بر سیستم آب زیرزمینی موجود در سنگ بستر

منطقه	میانگین دما صحرایی (°C)	میانگین دی اکسید کربن (mg/L)	با استناد به رابطه CO <sub>2</sub> با کربنات کلسیم			فشار CO <sub>2</sub> اولیه با استناد به مقادیر CO <sub>2</sub> حل شده (اتمفر)
			بی کربنات (mg/L)	کربنات کلسیم (ppm)	فشار اولیه CO <sub>2</sub> (اتمفر)	
لالجین	۱۴/۸۹	۸۸۸	۱۰/۸۶	۵۴۳	۰/۵۲	۰/۴۷
چهاردولی	۱۵/۰۶	۲۷۹/۴	۸/۸۷	۴۴۳/۵	۰/۴۲	۰/۱۵
قهاوند	۱۷/۶۴	۱۵۲۰	۲۵/۲۴	۱۲۶۲	۱/۳	۰/۸۴

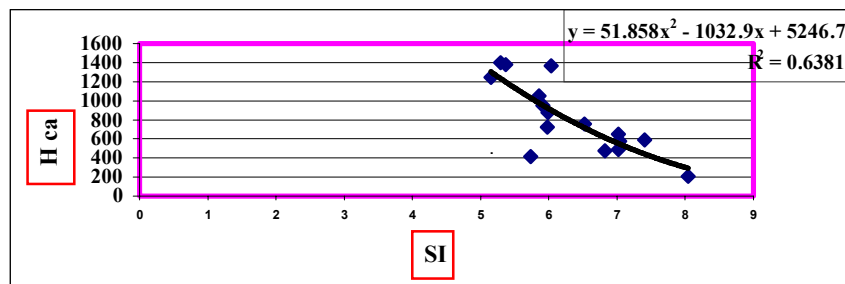
همان‌گونه که ذکر شد سنگ‌بستر منطقه از نظر پارامترهای صحرایی و آزمایشگاهی استعداد قوی برای انحلال داشته و نتایج آنالیز و برآوردها، انحلال مقادیر زیادی از دی اکسید کربن در آب زیرزمینی موجود در رسوبات و درز و شکاف سنگ بستر را نشان می‌دهد. حال سؤال این است که آیا دی اکسید کربن و اسید کربنیک حاصل از آن به سنگ بستر کربناتی منطقه حمله کرده است یا خیر. برای جواب این سؤال مقادیر اندیس‌های اشباع و پایداری و پارامترهای وابسته در نمونه‌های آنالیز شده محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است. هنگامی که مقادیر

اندیس‌های اشباع و پایداری به ترتیب مثبت و کم‌تر از ۶ باشد، حالت فوق اشباع برای یون کلسیم محلول در آب وجود دارد و محلول تمایل به تشکیل رسوب کربنات کلسیم دارد [۵]. نمونه‌های منطقه قهاوند- فامنین در جدول ۵ در شرایط اشباع و فوق اشباع قرار گرفته و مفهوم آن این است که آب حاوی گاز دی‌اکسید کربن به سنگ بستر منطقه حمله نموده و با انحلال مقادیر زیادی از کربنات کلسیم سبب توسعه سیستم درز و شکاف و تشکیل مجاری، حفره‌ها، غارها و کانال‌های ارتباطی شده است. در شکل ۲ نمودار مقادیر بی‌کربنات محلول در مقابل دی‌اکسید کربن برای نمونه‌ها ارائه شده است که درجه همبستگی بین آن‌ها نسبتاً بالا است همچنین در شکل ۳ نمودار اندیس پایداری در مقابل سختی کلسیمی و در شکل ۴ نمودار اندیس پایداری در مقابل قلیائیت کل ارائه شده که درجه همبستگی معکوس بین آن‌ها نسبتاً بالا بوده و نشان‌دهنده انحلال کربنات کلسیم از سنگ بستر و تشکیل یون‌های کلسیم، کربنات و بی‌کربنات است.

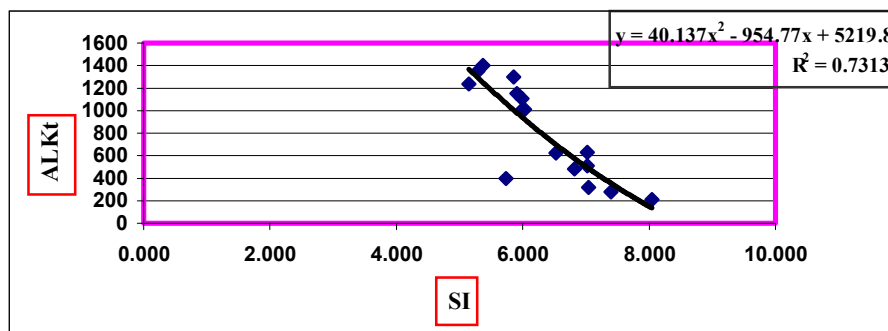
از جمله شواهد دیگری که انحلال سنگ بستر منطقه را نشان می‌دهد وجود قشر سخت و نازک از کربنات کلسیم ته‌نشین شده در سطح کانال‌ها و حوضچه برخی از چاه‌های گازدار به خصوص در منطقه قهاوند- فامنین است. این قشر هنگامی که گاز دی‌اکسید کربن به علت کاهش فشار و افزایش دما از آب خارج می‌شود و غلظت کلسیم افزایش می‌یابد تشکیل می‌شود.



شکل ۲- نمودار تغییرات بی‌کربنات ( $\text{mg/L}$ ) در برابر دی‌اکسید کربن آزاد محلول ( $\text{mg/L}$ ) نمونه‌ها



شکل ۳- نمودار اندیس پایداری در مقابل سختی کلسیمی (غلظت کلسیمی معادل کربناتی) نمونه‌ها



شکل ۴- نمودار اندیس پایداری در مقابل قلیائیت کل نمونه‌ها

### نتیجه‌گیری و پیشنهاد

بر مبنای مشخصات پتروگرافی و تکتونیکی سنگ بستر و وضعیت انحلال آن در آزمایشگاه این سنگ از استعداد خوبی برای انحلال برخوردار است و وجود مقادیر زیاد گاز دی‌اکسیدکربن آزاد محلول در آب چاه‌ها گویای فعالیت‌های گازی شدید با منشأ درونی در شکستگی‌ها و سیستم درز و شکاف منطقه بوده است. مقادیر مثبت و کم‌تر از ۶ اندیس‌های اشباع و پایداری، همبستگی مناسب دی‌اکسیدکربن آزاد محلول با یون بی‌کربنات کلسیم و همبستگی معکوس مناسب بین اندیس پایداری با قلیائیت کل و سختی کلسیمی نشان می‌دهد که سنگ بستر منطقه مورد هجوم گاز  $CO_2$  قرار گرفته و سیستم‌های درز و شکاف این تشکیلات گشادتر شده و حفره‌های انحلالی، غارهای زیرزمینی، مجاری متعدد و در نتیجه ساختار درون کارست

جدول ۵- مقادیر اندیس‌های پایداری (SI) و اشباع (IS) برای نمونه‌های اخذ شده از چاه‌های گازدار

منطقه	مختصات جغرافیایی محل نمونه		F <sup>o</sup>	PH <sub>n</sub>	C <sub>ca</sub>	Alk	PH <sub>s</sub>	IS	SI
	عرض	طول							
لالجین	۳۴°۵۹′-۱۶/۳″	۴۸°۲۸′-۵۰/۲″	۶۵/۸۴	۶/۵	۴۱۶	۲۷۷	۶/۹۵	-۰/۴۵	۷/۴
	۳۴°۵۹′-۴۵″	۴۸°۲۹′-۵۳/۱″	۷۱/۴۲	۵/۷۸	۵۵۰	۶۳۰	۶/۴۰	-۰/۶۲	۷/۰۲
	۳۴°۵۹′-۵۰/۴″	۴۸°۳۰′-۱۴/۴″	۷۱/۶	۷/۷۱	۳۹۴	۴۰۰	۶/۷۱	+۱	۵/۷۳
	۳۴°۵۸′-۱۱/۵″	۴۸°۳۰′-۱۴/۶″	۶۶/۲	۶/۲۶	۶۸۸	۶۲۳	۶/۳۹	-۰/۱۳	۶/۵۲
	۳۴°۵۸′-۲۳/۳″	۴۸°۳۰′-۲۳/۸″	۷۱/۶	۶/۰۵	۸۴۶	۱۰۱۰	۶/۰۴	+۰/۰۱	۶/۰۳
	۳۴°۵۹′-۱۲″	۴۸°۳۱′-۱۲/۷″	۶۵/۳	۷/۱۲	۲۷۶	۳۱۸	۷/۰۸	+۰/۰۴	۷/۰۴
دشت چهار دومی	۳۴°۵۵′-۵۵/۹″	۴۷°۵۹′-۲۸/۷″	۶۶/۷۴	۶/۸۸	۲۸۶	۴۸۳	۶/۸۵	+۰/۰۳	۶/۸۲
	۳۴°۵۵′-۵۷/۷″	۴۸°۰۰′-۵۰/۸″	۶۶/۹۲	۶/۸۴	۲۲۴	۵۱۳	۶/۹۳	-۰/۰۹	۷/۰۲
	۳۴°۵۶′-۱۲/۶″	۴۸°۵۹′-۹/۱″	۶۷/۴۶	۶/۵۴	۵۶۰	۱۰۰۰	۶/۲۶	+۰/۲۸	۵/۹۸
	۳۴°۵۳′-۴۳″	۴۸°۰۱′-۵۷/۷″	۶۶/۹۲	۶/۶۱	۱۱۷۵	۱۲۳۹	۵/۸۸	+۰/۷۳	۵/۱۵
	۳۴°۵۵′-۳۱″	۴۸°۰۰′-۵۷/۷″	۶۷/۲۸	۷/۴۸	۹۰	۲۱۰	۷/۷۶	-۰/۲۸	۸/۰۴
قهاوند	۳۴°۴۱′-۲۸/۴″	۴۸°۵۹′-۲۲″	۶۳/۳۹	۶/۲	۸۷۲	۱۳۰۰	۶/۰۳	+۰/۱۷	۵/۸۶
	۳۴°۰۰′-۲۹/۷″	۴۸°۵۷′-۰۲″	۶۹/۲۶	۶/۲۵	۱۲۵۲	۱۳۵۰	۵/۷۷	+۰/۴۸	۵/۲۹
	۳۴°۰۱′-۳۸/۸″	۴۸°۵۷′-۵۷/۸″	۶۹	۶/۲۱	۱۱۸۷	۱۴۰۲	۵/۷۹	+۰/۴۲	۵/۳۷
	۳۴°۴۱′-۱۲/۵″	۴۸°۵۸′-۵۹/۶″	۷۳/۴	۶/۲۷	۵۶۴	۱۱۰۶	۶/۱۳	+۰/۱۴	۵/۹۹
	۳۴°۴۱′-۳۴/۴″	۴۸°۵۹′-۱۸/۹″	۷۲/۸۶	۶/۲۷	۶۲۰	۱۱۵۰	۶/۰۹	+۰/۱۸	۵/۹۱

در آن‌ها به وجود آمده است. وقوع فروچاله‌ها با اشکال خاص و چاه‌های حفر شده در سنگ بستر با آب‌دهی بالا و گل‌آلودگی آن‌ها در هنگام وقوع فروچاله‌ها وجود ساختار درون کارست را در سنگ بستر تأیید و بر آن تأکید می‌کنند. بنابراین بهره‌برداری از آب موجود در سنگ بستر و تخلیه مجاری و حفره‌ها عاملی برای ریزش کمانی رسوبات فوقانی و در نهایت وقوع فروچاله در منطقه است و برای کاهش میزان وقوع آن‌ها باید از کف‌کنی چاه‌های آب در منطقه جلوگیری و تمام چاه‌هایی که دارای آب‌دهی زیاد هستند و در سنگ بستر حفر شده‌اند باید هرچه سریع‌تر تعطیل شوند.

### منابع

- ۱- اکبرزاده خویی، ح، «تهیه نقشه توپوگرافی و بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی غار علی‌صدر همدان»، نوزدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران (۱۳۷۹).
  - ۲- امیری، م، «بررسی گازدارشدن و ارائه راه‌حل‌ها در رابطه با چاه‌های آب استان همدان»، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، نشریه شماره ۳۶۱ (۱۳۸۲).
  - ۳- ترابی تهرانی، پ، هیدرولوژی زیرزمینی، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، شماره ۱۳۱ (۱۳۷۹).
  - ۴- حیدری، م. خانلری، غ و طالب بیدختی، ع، «بررسی انحلال‌پذیری سنگ‌های کربناته حاشیه نیروگاه»، سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه بوعلی سینا همدان (۱۳۸۲).
  - ۵- شریعت، م، اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۷۸).
  - ۶- علیاری، ع. فاطمی عقدا، م. نخعی، م و بیت الهی، ع، «بررسی مکانیزم تشکیل فروچاله‌های دشت مرکزی همدان»، دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران (۱۳۸۰).
- 1- A.C. Walthan, Ground subsidence. Blackie, (1989) 202 P.
  - 2- E.W. More, Graphic determination of carbon dioxide and the three forms of alkalinity, J. Amer water works Assoc. 31:51 (1939).
  - 3- Standard method. Committee, standard methods for the examination of water waster, part 9000, chemical examination, vol. 1 (1990).