هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۹، زمستان ۱۳۹۵، صص ۱۱۲-۸۷

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۵ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰

تأثیر پدیده‌های ساختاری و مورفولوژیکی در ظهور، تغذیه و گل‌آلود شدن چشمه‌ی گرداب در شمال شرق اندیمشک استان خوزستان

نصراله کلانتری[۱]

مهران مهدی‌پور[*۲]

ولی‌اله همرایان آزاد[۳]

چکیده

چشمه کارستی گرداب (منگره) با متوسط تخلیه‌ی سالانه بیش از ۳۳۰ لیتر بر ثانیه از بزرگ‌ترین چشمه‌های کارستی شهرستان اندیمشک به حساب می‌آید. هدف از انجام این تحقیق بررسی زمین‌شناسی ساختمانی، مورفولوژی منطقه و تعیین عوامل مؤثر بر نحوه‌ی ظهور، تغذیه و گل‌آلود شدن چشمه گرداب می‌باشد. در این راستا مطالعات چینه‌شناسی، لیتولوژی، ساختاری و مورفولوژیکی انجام شده است. به این منظور، علاوه بر اینکه در ۲۰ ایستگاه (بالا دست چشمه‌ها) برداشت درزه و شکستگی انجام شده است و خصوصیات شکستگی‌ها شامل مختصات، میزان بازشدگی و فاصله‌ی آنها اندازه‌گیری شده است، در محیط GIS با استفاده از تابع density از ابزار Spatial analyst، نقشه‌ی هم تقاطع شکستگی‌های منطقه تهیه شده و در نهایت مدل تفهیمی هیدروژئولوژیکی از وضعیت تغذیه‌ی چشمه‌ی گرداب ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که شکستگی‌ها، زون گسلی بالارود، گسل‌های موجود در منطقه و فروچاله‌ی چالاب در ظهور، تغذیه و

---

۱ ـ دکتری هیدروژئولوژی ، استاد گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

۲ ـ دانشجوی کارشناسی ارشدهیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران (نویسنده مسئول*)

Email:mehranmehdipour160@gmail.com

۳ ـ دانشجوی کارشناسی ارشدهیدروژئولوژی ، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

گل‌آلود شدن چشمه‌ی گرداب نقش اساسی دارند. با این وجود که شیب توپوگرافی و شیب لایه‌های کوه چائونی به سمت چشمه‌ی گرداب می‌باشند و آب را به سمت چشمه‌ی انتقال می‌دهند، ولی مهم‌ترین پارامتر در ظهور، انتقال آب به چشمه و گل‌آلود شدن آن، گسل‌های موجود در منطقه مانند گسل‌های منگره، چاره و ورنا می‌باشند. با توجه به اطلاعات به دست آمده علت ایجاد گل‌آلود شدن آب چشمه‌ی گرداب در هنگام بارندگی، فروچاله‌ی چالاب می‌باشد.

کلمات کلیدی: تکتونیک، کارست، چشمه‌ی گرداب، جهت جریان، فروچاله‌ی چالاب.

مقدمه

فرایندهای تکتونیکی شدید باعث به وجود آمدن سیستم‌های درز و شکاف زیادی می‌شود که آب می‌تواند از این طریق به قسمت‌های عمیق توده سنگ ضخیم انتقال یابد. قطعه‌قطعه شدن توده سنگ‌ها در اثر فرایندهای تکتونیکی عامل مهمی در کارستی شدن بوده که به طور افقی و عمودی عمل می‌نماید (گلداسکیدر[1]، ۲۰۰۸). شناخت ساختارهای تکتونیکی بارهیدرولیکی، جریان آب زیرزمینی و آبدهی را در مناطق زمین‌شناسی کنترل می‌کنند (اپایدین[2]، ۲۰۱۰). در محیط‌هایی که تحت تأثیر تکتونیک قرار دارند الگوی جریان آب زیرزمینی ناحیه‌ای تأثیر زیادی بر روی تغذیه آبخوان‌ها دارد، اما بعضی مواقع این الگو به خاطر اینکه مربوط به مقیاس بزرگ می‌باشد در توازن آب‌های محلی اهمیت ندارد (هابرت[3]، ۲۰۰۹). زون‌های گسلی می‌توانند در محیط‌های زمین‌شناسی بین مناطق کم‌عمق و عمیق ارتباط هیدرولیکی برقرار کنند، ولی گاهی اوقات محدوده‌ی مناطق گسلی سدهایی در برابر

1- Goldscheider
2- Apaydin
3- Hubbert

جریان آب ایجاد می‌کنند و مانع ارتباط هیدرولیکی می‌شوند (بنز و همکاران[۱]، ۲۰۱۳). در دهه‌ی اخیر مطالعات مهمی بر روی ارتباط میان ساختارهای تکتونیکی و آب‌های زیرزمینی انجام شده است و نقش گسل‌ها بر روی آب‌های زیرزمینی، تخلیه چشمه‌ها و نوسان سطح آب مورد بررسی قرار گرفته است (روجستیزر و همکارن[۲]، ۱۹۹۵). نفوذپذیری گسل‌ها به خصوصیات زمین‌شناسی مانند ماهیت سنگ‌هایی که در آنها گسلش اتفاق افتاده است، محیط ساختمانی، مدت زمانی که گسلش اتفاق افتاده است و تبلور ثانویه بستگی دارد. گسل‌ها اغلب به وسیله مجموعه‌ای موازی از درزه‌ها همراهی می‌شوند و این درزه‌ها باعث نـفوذپذیری لایه‌ها مـی‌شوند. نـفوذپذیری زون‌های گسلی در رسوبات آواری متغیر می‌باشد و تابع عمق دفن رسوبات (فولجیمز و همکاران[۳]، ۱۹۹۷؛ رولینگ[۴]، ۲۰۰۱؛ بنز و پرسن[۵]، ۲۰۰۶)، گسترش گسل (ویک و همکاران[۶]، ۱۹۹۵) و تبلور مجدد در طول صفحه گسلی (فیشر و کنیپ[۷]، ۱۹۹۸) می‌باشد. کاستینگ[۸] در سال ۱۹۷۷ تحقیقی پیرامون نقش گسل‌ها در جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های آهکی انتشار داد. وی سه نقش مثبت، منفی و خنثی برای گسل‌ها در مقابل جریان آب زیرزمینی در نظر گرفت. نقش مثبت گسل‌ها در جایی است که بر اثر افزایش شکستگی و ضعف ساختمانی منجر به افزایش نفوذپذیری محلی شوند. نقش منفی آنها هنگامی است که به دلیل وجود صفحه گسلی ناتروا، جلوی جریان آب زیرزمینی را سد کنند به طوری که جریان را به سوی دیگر هدایت کنند و یا منجر به ظهور چشمه در سطح زمین

1- Bens et al
2- Rojstaczer et al
3- Fulljames et al
4- Rawling
5- Bense and Person
6- Wieck et al
7- Fisher and Knipe
8- Kastning

گردند. چنانچه وجود گسل، اثری در جهت جریان آب زیرزمینی نگذاشته باشد نقش آن گسل خنثی می باشد. یکی از مهم ترین موضوعات در رابطه با منبع آلودگی آب‌های زیرزمینی، جریان آب در شکستگی‌ها می‌باشد (هین کامپ[1]، ۱۹۹۹). در رابطه با آلودگی آب‌های زیرزمینی در مناطق کارستی توسط فروچاله‌ها در امتداد گسل‌ها محققان (افگبو و همکاران[2]، ۲۰۰۱؛ مال کووسکی و پک[3]، ۱۹۹۶) مطالعاتی انجام داده‌اند.

با توجه به این که چشمه‌ها در شناخت هیدروژئولوژی به ویژه سازندهای سخت دارای اهمیت زیادی هستند مطالعات فراوانی بر روی آنها در سطح جهان و ایران انجام شده است (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۸؛ چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۸۷؛ خوبیاری و همکاران، ۱۳۸۷؛ الهتیپ و گونی[4]، ۱۹۸۸؛ رهنمائی[5]، ۲۰۰۵). در این تحقیق سعی شده است با استفاده از تجزیه و تحلیل ساختارهای زمین‌شناسی و هیدروگراف تخلیه چشمه کارستی گرداب تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی بر هیدروژئولوژی، تعیین نوع جریان آبخوان کارستی، رژیم و روند تغذیه‌ی چشمه مورد بررسی قرار گیرد. علاوه براین، در این مطالعات علت کدورت و گل‌آلود شدن آب چشمه‌ی گرداب نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است.

موقعیت و زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

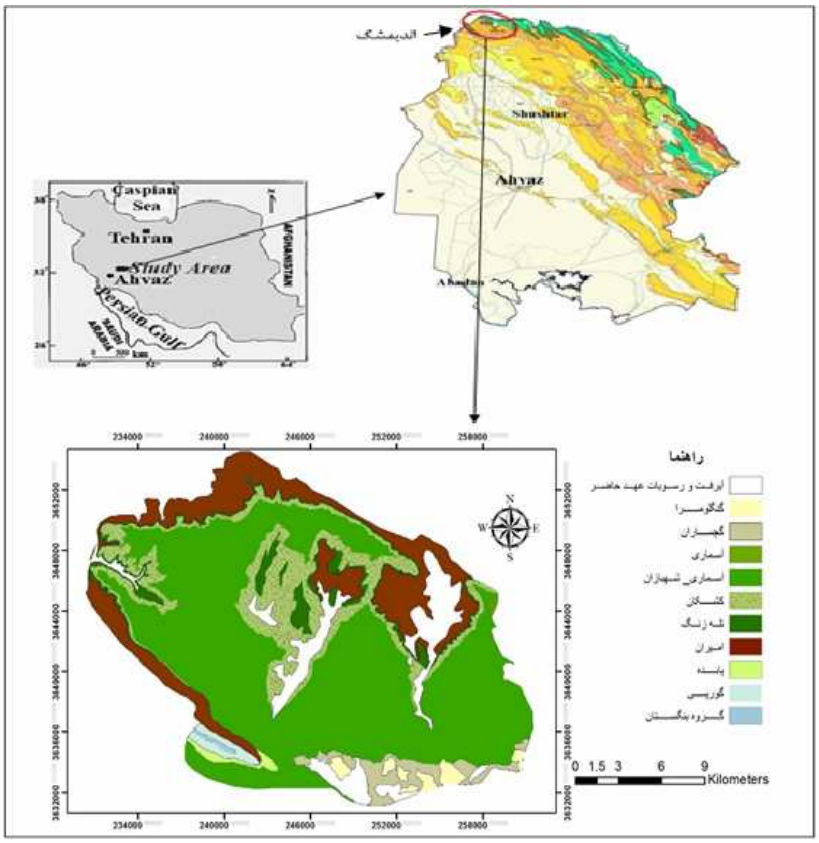
این منطقه‌ی در جنوب غرب استان لرستان، غرب استان ایلام و شمال غرب استان خوزستان ('۵۸ و°۳۲ - '۴۹ و°۳۲ عرض شمالی و'۲۴ و°۴۸ - '۱۰و°۴۸ طول شرقی) و در شمال زون گسلی امتداد لغزچپ گرد با مؤلفه معکوس بالارود واقع

1- Heynekamp
2- Ofoegbou
3- Mal’kovskii andPek
4- Elhatip and Gunay
5- Rahnemaei

شده و اولین ارتفاعات مربوط به زاگرس چین‌خورده را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). بر اساس وضعیت هندسی سطح محوری، چین‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه از نوع چین نامتقارن (دارای سطح محوری مایل) و دو سو مایل می‌باشند. این چین‌های نامتقارن شامل تاقدیس‌های خوشاب، ریت و چناره می‌باشند. تاقدیس‌های خوشاب، چناره و ریت از نوع چین‌های خم گسلی می‌باشند. یک تراست که بخشی از گسل جبهه کوهستان است و در شمال تاقدیس خوشاب قرار دارد از طرف شمال به این تاقدیس‌ها فشار وارد می‌کند و گسل بالارود که یک گسل امتداد لغز چپگرد با مؤلفه معکوس می‌باشد از جنوب، این تاقدیس‌ها را تحت تأثیر قرار داده و این تاقدیس‌ها را به صورت چین‌های خم گسلی درآورده‌اند.

عوامل مؤثر در انحلال پذیری سنگ و توسعه کارست در منطقه‌ی مورد مطالعه بارندگی نسبتاً زیاد منطقه، پوشش گیاهی و خاک که منجر به افزایش دی‌اکسید کربن محیط شده در توسعه‌ی فرایند کارستیفیکاسیون نقش مهمی دارند و منجر به تشکیل کارن، دره‌ی عمیق کارستی و فروچاله از جمله فروچاله‌ی چالاب شده است. اما مهم‌ترین عامل در انحلال‌پذیری سنگ‌ها و توسعه‌ی کارست در منطقه تکتونیک شدید، گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان و به هم پیوسته می‌باشد که با ایجاد درزه‌ها و شکستگی‌های عمیق در جهات عمودی، افقی و مایل توده‌های سنگی سازندهای آسماری – شهبازان شده است که باعث جریان و گردش آب درون این مخازن کارستی می‌شود.

پدیده‌ی انحلال و کارستیفیکاسیون باعث ایجاد مخازن عظیم آب در سازندهای آسماری – شهبازان کوه چائونی شده است، به طوری که این مخازن کارستی، باعث تغذیه و آبدهی زیاد چشمه‌ی گرداب در تمام طول سال می‌شوند.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی و نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

مواد و روش

در مرحله‌ی اول این تحقیق، نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر گوگل ارث منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده در این مرحله شامل نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران، نقشه‌های توپوگرافی رقومی شده سازمان نقشه‌برداری کشور با فرمت dgn (مقیاس ۱/۲۵۰۰۰)، تصویر ماهواره‌ای منطقه بر گرفته از سنجنده

Lansat TM-2002 و عکس‌های هوایی سازمان نقشه‌برداری کشور با مقیاس ۱/۴۰۰۰۰ است. طی چندین مرحله‌ی بازدید از منطقه، موقعیت چشمه‌ها توسط دستگاه GPS برداشت شده است و برای اندازه‌گیری میزان آبدهی چشمه‌ی گرداب اشل در بستر مسیر جریان آب این چشمه نصب گردید. با استفاده از نمودار دبی- اشل میزان آبدهی چشمه، به صورت روزانه محاسبه شده است. علاوه بر این، در نقاط مختلف منطقه برداشت‌های چینه‌شناسی، لیتولوژیکی و ساختاری انجام گردیده است و در ۲۰ ایستگاه (بالا دست چشمه‌ها) برداشت درزه و شکستگی انجام شده است و خصوصیات شکستگی‌ها شامل مختصات، میزان بازشدگی و فاصله آنها اندازه‌گیری شده است. با استفاده از درزه برداری در مناطق مختلف حوضه‌ی آبگیر چشمه‌ی گرداب، نمودارهای استریوگرافیک و گل سرخی از شکستگی‌ها، تصویر استریوگرافیک، نمودار نقطه‌ای، نمودار کنتوری و نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی ترسیم گردیده است.

در مرحله‌ی دوم با توجه به اهمیت شکستگی‌ها در ظهور چشمه‌ی گرداب، با استفاده از نرم‌افزار ENVI ۴،۰ خطواره‌های منطقه از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است. جهت تفکیک شکستگی‌ها از دیگر پدیده‌های خطی مانند جاده‌ها، خطوط انتقال آب و غیره از عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین‌شناسی و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. در نهایت نیز در محیط GIS با استفاده از تابع density از ابزار Spatial analyst، نقشه‌ی هم‌تقاطع شکستگی‌های منطقه تهیه شده است و در نهایت مدل تفهیمی هیدروژئولوژیکی از وضعیت تغذیه‌ی چشمه‌ی گرداب ارائه شده است.

بحث و بررسی

نقش توپوگرافی بر تغذیه و آبدهی چشمه‌ی گرداب

جهت حرکت آب، عموماً تابع پارامترهایی مثل شیب توپوگرافی، شیب لایه‌ها، جهت

میل محور چین و شکستگی‌ها می‌باشد. براساس پارامترهای فوق شیب سیستم‌های درزه و شکستگی بیشتر سبب نفوذ عمودی آب به درون‌سازندهای سخت منطقه می‌شوند، در حالی که سطوح لایه‌بندی عامل انتقال جانبی آب زیرزمینی هستند. شیب لایه‌های کوه چائونی نیز به سمت چشمه‌ی گرداب (جنوب) می‌باشند و آب را به سمت چشمه انتقال می‌دهند و توپوگرافی منطقه به سمت جنوب می‌باشد و باعث انتقال آب از ارتفاعات کوه چائونی به سمت چشمه‌ی گرداب می‌شود (شکل ۲).

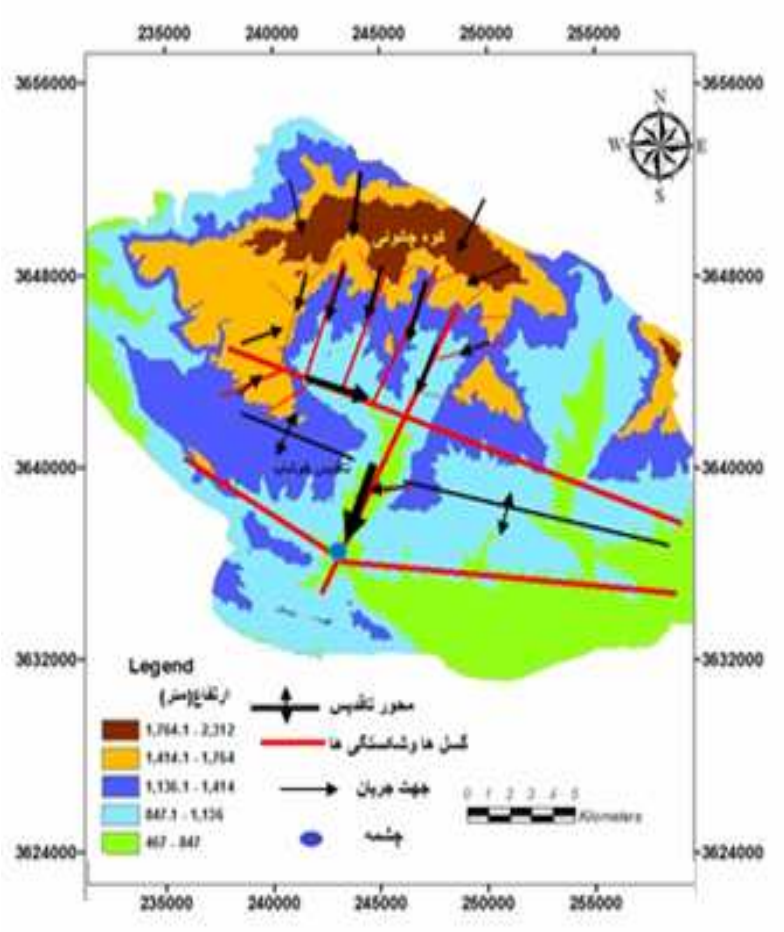
نقش درزه‌ها بر تغذیه و آبدهی چشمه‌ی گرداب

برای تعیین نقش درزه‌ها بر تغذیه و آبدهی چشمه‌ی گرداب پنج ایستگاه در ارتفاعات تاقدیس خوشاب و کوه چائونی در حوضه‌ی آبریز چشمه‌ی گرداب انتخاب گردید و در مجموع داده‌های ۴۰ درزه برداشت شد. با توجه به روند لایه‌بندی موجود در منطقه و همچنین با استفاده از روند کلی چین خوردگی ناحیه‌ای زاگرس درزه‌های منطقه به رده‌هایی تقسیم شد، که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند. یکی از پارامترهای بسیار مهم در میزان نفوذ آب به درون آبخوان، پرشدگی درزه‌ها و نوع پرشدگی آنها می‌باشد. در مطالعات میدانی صورت گرفته، تعداد درزه‌هایی که دارای پرشدگی بوده‌اند حدود ۱ درصد از کل درزه‌های مطالعه شده را در برمی‌گیرند و این خود می‌تواند دلیلی بر تغذیه زیاد آب به درون آبخوان کارستی منطقه باشد.

هندسه درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی

یکی از ویژگی‌های مهم سنگ‌های آهکی محدوده‌ی مورد مطالعه، وجود سطوح لایه‌بندی می‌باشد که در سراسر حوضه به خوبی مشاهده می‌گردند. درزه‌هایی نیز به موازات این لایه‌بندی تشکیل گردیده‌اند که نقش بسیار شاخصی در پدیده‌ی نفوذ و هدایت جریان آب در حوضه دارند. علاوه بر درزه‌هایی که در امتداد لایه‌بندی شکل گرفته‌اند، در مواردی خود سطح لایه‌بندی به عنوان درزه‌هایی با بازشدگی

زیاد عمل کرده و با داشتن متوسط شیب ۵۰ درجه نقش شایانی در نفوذ آب در این ناحیه دارند.



شکل (۲) توپوگرافی حوضه‌ی آبگیر چشمه‌ی گرداب و نقش ارتفاعات کوه چائونی و بخش شمال غربی تاقدیس خوشاب در تغذیه‌ی چشمه‌ی گرداب

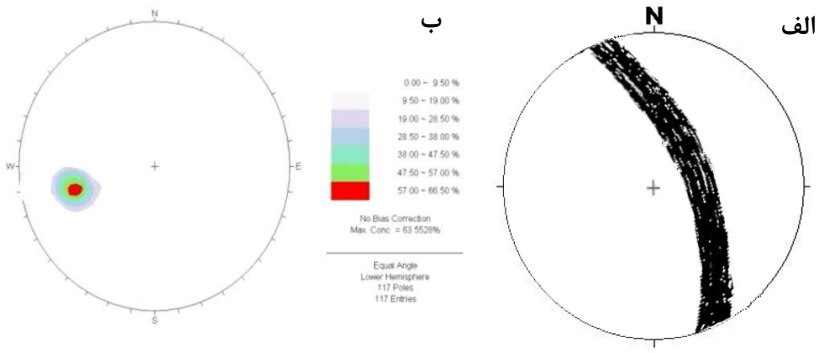
با مشاهده نمودار استریوگرافیک و کنتوری لایه‌بندی در حوضه‌ی آبگیر چشمه‌ی گـرداب (شکل ۳)، مـلاحظه می‌شود که رونـد لایه‌بـندی در منطقه از رونـد کلی چین‌خوردگی زاگرس تبعیت می‌نماید.

نمودارهای استریوگرافیک از قطب لایه‌بندی و کنتوری تمام درزه‌های برداشت شده نشان داده شده است. با توجه به نمودارها می‌توان درزه‌های برداشت شده در منطقه را به رده‌هایی تقسیم کرد.

دسته‌ی ۱ با روند N45E، چون جهت شیب آنها تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی طبقات است، جزء درزه‌های شیبی است.

دسته‌ی ۲ با روند N20E، امتدادشان تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی در منطقه است و جزء درزه‌های امتدادی است.

دسته‌ی ۳ با روند N15W، چون سطح آنها تقریباً موازی سطوح لایه‌بندی است، جزء درزه‌های طبقه‌ای محسوب می‌شوند.



شکل (۳) الف- نمودار استریوگرافیک از لایه‌بندی در حوضه‌ی چشمه‌ی گرداب (قسمت شمالی تاقدیس خوشاب) ب- نمودار کنتوری

درزه‌های دسته‌ی ۱ و ۳ به ترتیب ۱۸ و ۴۲ درصد از کل درزه‌های اندازه‌گیری شده در حوضه‌ی آبگیر چشمه‌ی گرداب را شامل می‌شوند، در صورتی که درزه‌های دسته‌ی ۲ فقط ۱۵درصد از کل درزه‌های قـرائت شده در این حوضـه را شـامل می‌شوند.

با توجه به داده‌های جدول (۱)، بیشترین میانگین شیب مربوط به درزه‌های دسته‌ی ۱ می‌باشد که دارای میانگین شیبی برابر ۷۰ درجه می‌باشند. کمترین میانگین شیب در بین دسته‌ی درزه‌های موجود مربوط به دسته‌ی ۲ با میانگین شیب برابر ۴۲ درجه می‌باشد. بنابراین، درزه‌های دسته‌ی ۳ نقش بیشتری در نفوذ و هدایت آب دارند.

هندسه درزه‌ها نسبت به روند ساختاری زاگرس

با توجه به روند کلی چین‌خوردگی زاگرس، می‌توان این سه دسته درزه را به صورت زیر تفسیر کرد:

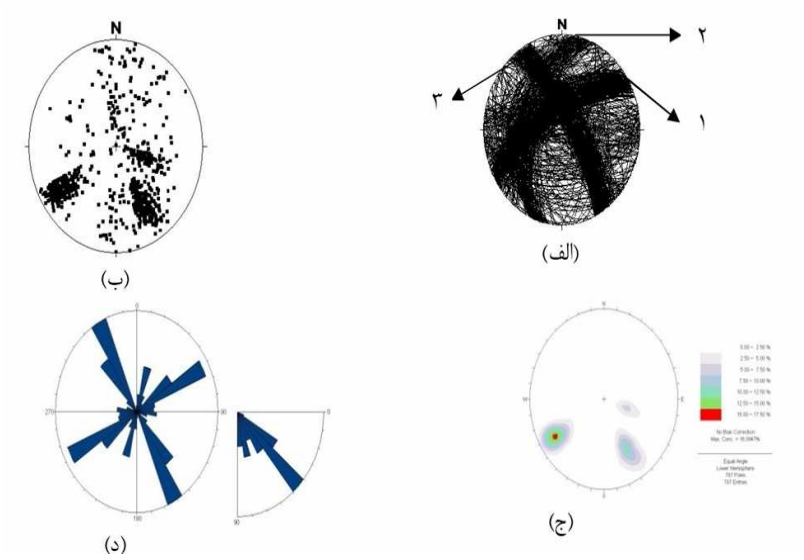
دسته‌ی ۱ با روند N45E، تقریباً عمود بر روند کلی چین‌خوردگی زاگرس هستند و جزء درزه‌های کششی عرضی هستند.

دسته‌ی ۲ با روند N20E، چون مورب نسبت به روند کلی چین‌خوردگی زاگرس هستند، جزء درزه‌های مورب می‌باشند.

دسته‌ی ۳ با روند N15W، تقریباً دارای روندی مشابه چین خوردگی زاگرس هستند و به عنوان درزه‌های طولی محسوب می‌شوند. هر چند که درزه‌ها روند متفاوتی را نشان می‌دهند ولی همه‌ی آنها و به ویژه دسته‌ی ۳ نقش مهمی در نفوذ و انتقال آب به داخل گسل‌ها دارند که در نهایت باعث تغذیه‌ی چشمه‌ی گرداب می‌شود.

بازشدگی دهانه درزه‌ها

یکی از پارامترهای دیگری که تأثیر بسیار مهمی در فرایند نفوذ آب در مناطق درز و شکافدار و به خصوص مناطق کارستی دارد، اندازه‌ی بازشدگی دهانه‌ی درزه‌ها می‌باشد. این پارامتر همچنین بر روی فرایند کارستی شدن و توسعه‌ی کارست تأثیر زیادی دارد. به همین منظور در برداشت‌های صحرایی اقدام به اندازه‌گیری بازشدگی درزه‌های رده‌های مختلف با دقت میلی‌متر شده است.



شکل (۴) نمودارهای استریوگرافیک و گل سرخی از شکستگی‌ها. الف: تصویر استریوگرافیک ب: نمودار نقطه‌ای، ج: نمودار کنتوری و د: نمودار گل سرخی امتدادی و شیبی

با توجه به جدول (۱)، درزه‌های دسته‌ی ۱ با میانگین بازشدگی ۳۴ میلی‌متر کمترین مقدار بازشدگی را در بین سیستم درزه‌های موجود دارا هستند و از آنجا که این دسته از درزه‌ها ۲۸ درصد از درزه‌های مطالعه شده را در شامل می‌شوند، به نوبه‌ی خود موجب افزایش مقدار نفوذ آب به درون آبخوان می‌گردند.

طول درزه‌ها

شکل حوضه‌ی آبگیر چشمه‌ی گرداب دارای روندی تقریباً شمالی- جنوبی می‌باشد. با توجه به امتداد درزه‌های دسته‌ی ۲ و ۳ و طول بالای این سیستم درزه‌ها می‌توان این دو سیستم درزه را به عنوان هدایت‌کننده‌ی اصلی جریان آب زیرزمینی در منطقه قلمداد کرد. با توجه به جدول (۱) ملاحظه می‌شود که بیشترین متوسط طول مربوط به درزه‌های دسته‌ی ۳ می‌باشد و از این بابت، درزه‌های دسته‌ی ۲ و ۱ در رده‌های بعدی قرار دارند.

جدول (۱) خصوصیات اندازه‌گیری میدانی دسته‌ی درزه‌ها

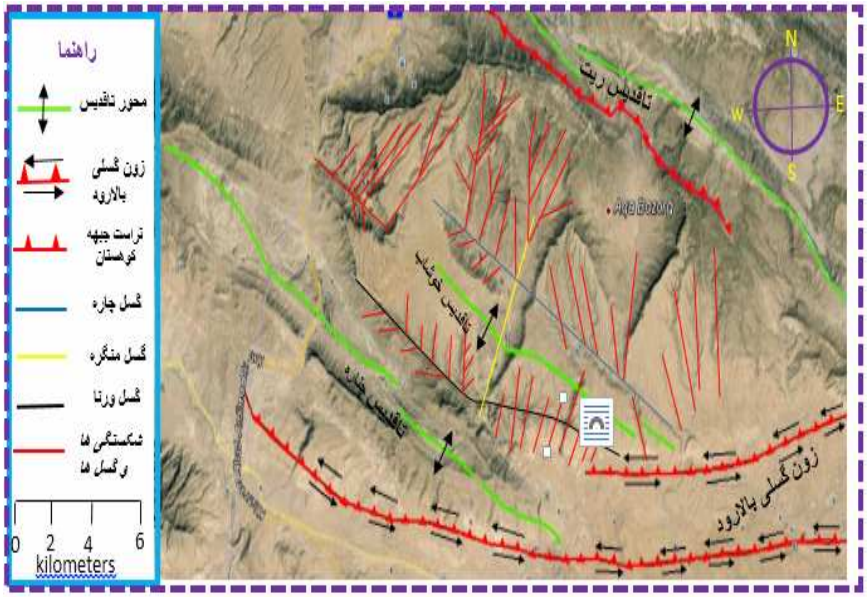
خصوصیات درزه‌ها	کل درزه‌ها	دسته‌ی ۱	دسته‌ی ۲	دسته‌ی ۳
تراکم غالب شکستگی‌ها		٪۱۸	٪۱۵	٪۴۲
میانگین شیب (درجه)	۶۲	۶۰	۴۵	۷۰
میانگین بازشدگی (میلی‌متر)	۴۶	۳۴	۵۲	۷۵
میانگین طول(متر)	۷۳	۲۵	۴۰	۸۵

نقش شکستگی‌ها و گسل‌ها بر تغذیه و آبدهی چشمه‌ی گرداب

بر اساس بازدید میدانی از منطقه‌ی مورد مطالعه مشخص گردید که مهم‌ترین شکستگی‌های محدوده‌ی مطالعاتی ناشی از عملکرد گسل‌های پی‌سنگی و زون گسلی بالارود می‌باشند و نیز مشخص شد که زون گسلی بالارود یک زون گسلی امتداد لغز چپ‌گرد با مؤلفه معکوس می‌باشد.

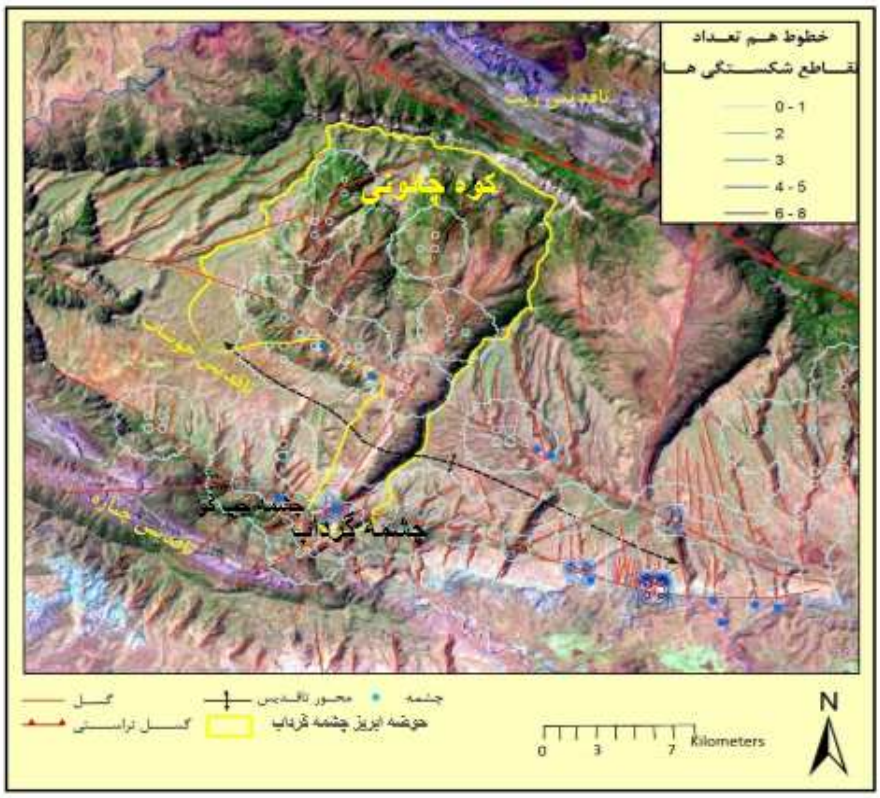
این سامانه‌های گسلی در منطقه‌ی مورد مطالعه به صورت یک گسل منفرد وجود ندارند، بلکه یک زون گسله شامل مجموعه‌ای از گسل‌های فرعی با روندهای شمال شرقی-جنوب غربی، شمالی-جنوبی (گسل منگره و...)، شمال غربی- جنوب شرقی (شامل گسل‌های چاره، ورنا و ...) و شرقی- غربی می‌باشد. به موازات گسل

جبهه کوهستانی زاگرس و زون گسلی بالارود، گسل‌های معکوس دیگری نیز در محدوده‌ی مورد مطالعه شکل گرفته‌اند که سبب ایجاد تغییرات قابل ملاحظه‌ای در لایه‌بندی، سیمای مورفولوژیکی، مسیر حرکت آبراهه‌ها و شرایط ساختمانی شده‌اند (شکل ۵). علاوه بر این، فشارش ناشی از صفحه عربستان در راستای تقریبی E N26، سبب تشکیل گسل‌های کششی در امتداد شمال شرق ـ جنوب غرب شده است. چنین سیستم‌های کششی مکان مناسبی برای عبور آب و فرسایش هستند. شکل‌گیری دره‌ها، تنگه‌ها و آبراهه‌های اصلی در این امتداد، شاهدی بر این مدعا است.



شکل (۵) نقشه‌ی گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

با شمارش نقاط تقاطع شکستگی‌ها در محدوده‌های مختلف تاقدیس خوشاب، نقشه‌ی چگالی تقاطع شکستگی‌ها تهیه گردیده است (شکل۶).



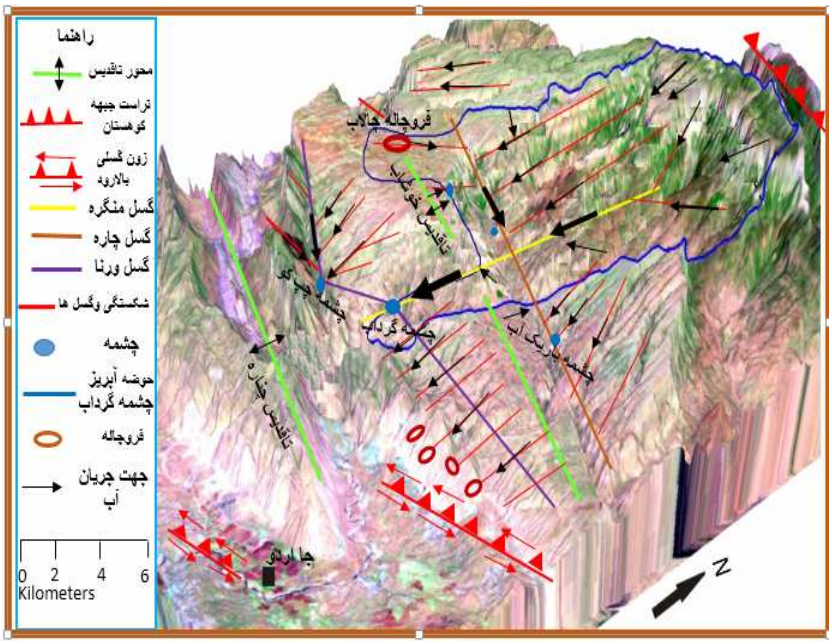
شکل (۶) نقشه‌ی هم‌تقاطع شکستگی‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه

با بررسی و تطابق تمام عوامل ساختاری، مورفولوژیکی و هیدروژئولوژی موجود در منطقه یک مدل تفهیمی هیدروزئولوژیکی از وضعیت تغذیه‌ی چشمه‌ی گرداب تهیه شد (شکل ۷). با توجه با این مدل مهم ترین پارامتر در ظهور و تغذیه‌ی چشمه‌ی گرداب، شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در منطقه می‌باشند. شکستگی‌های عرضی و مزدوج برشی همراه آن که نسبت به محور تاقدیس‌های منطقه به ترتیب حالات عمود و مورب دارند تحت تأثیر کشش به وجود آمده‌اند و چون دارای

بازشدگی هستند، از نظر هدایت جـریـان آب، توسعه کارست و تغذیه چشمه‌های پرآب منطقه نظیر چشمه‌های گرداب و چپ کو نقش مهمی دارند. این شکستگی‌ها با قطع نمودن شکستگی‌های طولی و لایه‌بندی‌ها، باعث ارتباط مجاری انحلالی کارست و ذخایر آبی در بخش‌های مختلف حوضه‌های کارستی محدوده‌ی مطالعاتی می‌شوند. شکستگی‌ها و گسل‌های عرضی باعث تخلیه و زهکشی آب کوه چائونی و نیز قسمتی از بخش شمال غربی تاقدیس خوشاب به بخش غربی گسل چاره (روند شمال غربی – جنوب شرقی) و بخش شمالی گسل منگره (روند شمالی – جنوبی) می‌شوند. گسل چاره و گسل منگره در محل روستای دوراهان که در شمال محور تاقدیس خوشاب قرار دارد با هم برخورد کرده و آب این دو گسل در جهت شیب توپوگرافی به سمت جنوب گسل منگره انتقال می‌یابد (شکل ۷).

در جنوب محور تاقدیس خوشاب گسل منگره با گسل ورنا (روند شمال غربی – جنوب شرقی) تلاقی کرده و در محل تقاطع این دو گسل چشمه‌ی گرداب به وجود آمده و آب گسل منگره در محل چشمه‌ی گرداب تخلیه می‌شود.

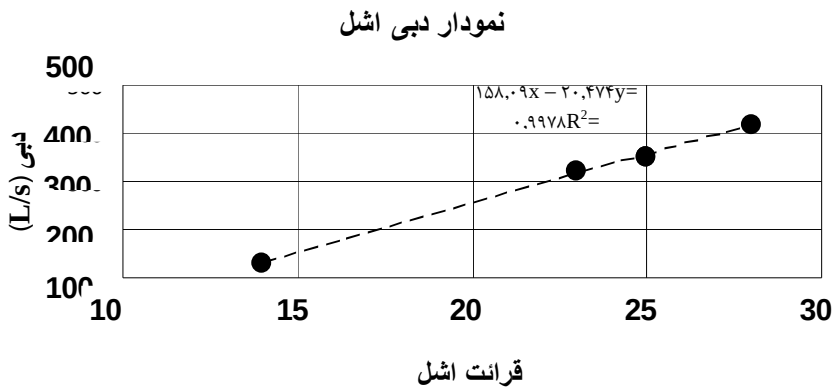
بنابراین، همان طور که در فوق اشاره شد و نیز با توجه به خطوط جهت جریان آب (شکل ۷)، آب چشمه‌ی گرداب ناشی از زهکشی آب کوه چائونی و نیز قسمتی از بخش شمال غربی تاقدیس خوشاب می‌باشد.



شکل (۷) مدل تفهیمی هیدروژئولوژیکی از وضعیت تغذیه‌ی چشمه‌ی گرداب

ترسیم آبنمود چشمه‌ی گرداب

چشمه‌ی کارستی گرداب با دبی متوسط ۳۳۰ لیتر بر ثانیه پرآب‌ترین چشمه در محدوده‌ی مورد مطالعه به شمار می‌رود. در این مطالعات، تهیه‌ی آبنمود به منظور شناسایی تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی بر رفتار هیدرودینامیکی چشمه، پاسخ چشمه به بارندگی و علت کدورت آن در فصل بارندگی بوده است. بنابراین، در چندین مرحله از بازدیدهای صحرایی دبی چشمه با دستگاه مولینه اندازه‌گیری شد.



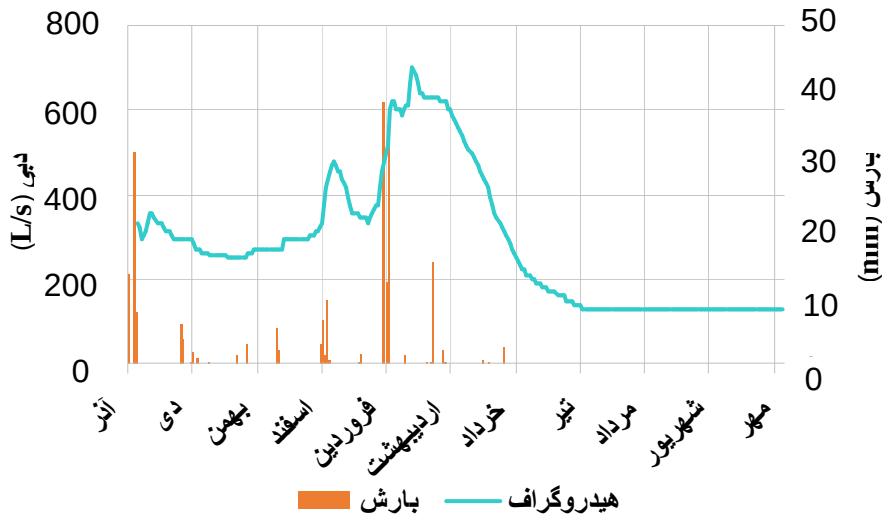
شکل (۸) نمودار دبی- اشل چشمه گرداب

برای اندازه‌گیری سرعت جریان، عرض بستر به مقاطع ۲۵ سانتی‌متری تقسیم گردید و برای هر مقطع در عمق‌های مختلف سرعت آب (توسط دستگاه مولینه و طبق فرمول تعریف شده برای دستگاه) اندازه‌گیری شد. با توجه به سرعت میانگین در هر مقطع و عمق اندازه‌گیری شده، دبی چشمه محاسبه و نمودار دبی- اشل ترسیم گردید (شکل ۸) و با استفاده از نمودار دبی- اشل میزان آبدهی برای مقادیر قرائت شده اشل به صورتروزانه به دست آمد. با استفاده از دبی روزانه آبنمود چشمه گرداب ترسیم گردید (شکل ۹).

در آبنمود چشمه‌ی گرداب ۳ نقطه‌ی اوج مشخص وجود دارد که به صورت ناگهانی در نمودار ظاهر شده‌اند که مربوط به تغذیه‌ی ناشی از بارندگی است. اولین نقطه‌ی اوج (۱) که در آبنمود ظاهر شده است، مربوط به بارندگی‌های اواخر پاییز است که باعث افزایش دبی چشمه و ایجاد پیک در نمودار شده است. نقطه‌ی اوج (۲) به علت بارندگی‌های اوایل اسفند است. بارندگی‌های پراکنده بهمن ماه پیک

واضحی در هیدروگراف چشمه ایجاد نکرده است. نقطه‌ی اوج (۳) در انتهای فصل تر و بلافاصله بعد بارندگی بهاره ایجاد شده است. در این فصل به دلیل افزایش یافته و چنین نقطه‌ی اوجی در آبنمود ظاهر شده است و در اردیبهشت ماه دوباره روند نزولی در آبنمود چشمه فزایش مقدار بارندگی و پوشش‌گیاهی در سطح منطقه میزان نفوذ افزایش یافته و چنین نقطه‌ی اوجی در آبنمود ظاهر شده است و در اردیبهشت ماه دوباره روند نزولی در آبنمود چشمه مشاهده می‌شود.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که چون مخزن آبخوان کارستی چشمه‌ی گرداب بزرگ است و نقطه‌ی اوج چشمه نسبت به بارش پاییزه قابل توجه نبوده است. چون در سال قبل از اندازه‌گیری دبی (۱۳۹۲) مقدار بارندگی کم بوده است، حجم زیادی از آب ورودی در باران پاییزه سال ۱۳۹۳صرف پر کردن فضای خالی درون مخزن شده است. در باران زمستان نیز نقطه‌ی اوج خیلی زیاد نیست که ناشی از میزان کم بارش می‌باشد. در بارش بهاره نقطه‌ی اوج قابل توجهی به وجود آمده است. در هر سه وضعیت پاسخ چشمه نسبت به بارندگی مناسب است که نشان‌دهنده‌ی تأثیر ساختارهای تکتونیکی بر آبدهی و نوع جریان است. گل‌آلودگی در آب چشمه نیز در هر سه بارندگی مشاهده شده است، ولی میزان آن در بارندگی پاییزه بیشتر بوده است. البته میزان کدورت آب چشمه به میزان بارش، شدت، تثبیت خاک و رویش گیاه بستگی دارد.



شکل (۹) آبنمود و نمودار بارش چشمه گرداب

نقش فروچاله‌ی چالاب بر کدورت و گل آلود شدن آب چشمه گرداب

در منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی فروچاله‌ی چالاب در بخش شمال غربی تاقدیس خوشاب و در محدوده‌ی محور این تاقدیس و سایر فروچاله‌ی منطقه در بخش جنوب شرقی تاقدیس خوشاب و در مجاورت سازند گچساران قراردارند (شکل ۷). با مطالعه و بررسی ساختارهای تکتونیکی، تهیه‌ی نقشه‌ی شکستگی‌ها و بررسی ابعاد و اندازه‌گیری قطرهای فروچاله‌ی چالاب مشخص گردید که عامل ایجاد این فروچاله، تکتونیک و گسل‌های موجود در منطقه می‌باشند.

فروچاله‌ی چالاب در محل تقاطع گسل عرضی با شکستگی‌های اطراف ایجاد شده است. قطر طویل این فروچاله ۴/۲۰ متر و قطر کوچک آن ۲/۸۰ متر است که قطر طویل فروچاله در امتداد گسل عرضی و تقریباً عمود بر محور تاقدیس می‌باشد

(شکل ۱۰). مساحت حوضه‌ی آبریز این فروچاله، دایره‌ای شکل و در حدود یک کیلومترمربع می‌باشد که باعث جمع‌آوری و انتقال آب از زمین‌های اطراف به دهانه این فروچاله می‌شود. با توجه به اینکه زمین‌های اطراف این فروچاله دارای مقادیر زیادی رس می‌باشند که در اثر بارندگی رس وارد فروچاله می‌شود و همراه با آب از طریق گسل‌ها وارد در مسیر جریان انتقال می‌یابد و موجب کدورت آب چشمه‌ی گرداب می‌شود. گسل عرضی باعث تخلیه و زهکشی آب فروچاله‌ی چالاب به بخش غربی گسل چاره می‌شود، در محل تقاطع گسل چاره و گسل منگره آب در جهت شیب توپوگرافی به سمت جنوب گسل منگره و چشمه‌ی گرداب انتقال می‌یابد. آب ورودی به فروچاله‌هایی که در بخش جنوب شرقی تاقدیس خوشاب قرار دارند به داخل سازند گچساران تخلیه می‌شوند (شکل ۷). بنابراین، عامل گل‌آلودی چشمه‌ی گرداب فروچاله‌ی چالاب می‌باشد.

شکل (۴۰) فروچاله‌ی چالاب در بخش شمال غربی تاقدیس خوشاب

نتیجه‌گیری

در منطقه‌ی مورد مطالعه به علت عملکرد شدید تکتونیک، عوارض ساختمانی متعددی از جمله درزه‌ها، شکستگی‌ها و نیز گسل‌های بزرگی تشکیل شده است که زمینه کارستی شدن سازند آسماری - شهبازان را در منطقه فراهم کرده است. این سیماهای کارستی نشان‌دهنده‌ی توسعه‌ی کارستیفیکاسیون در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشند.

پارامترهایی که باعث تعیین جهت حرکت آب از ارتفاعات کوه چائونی و بخش شمال غربی تاقدیس خوشاب بـه سمت چشمه‌ی گـرداب و تـغذیه‌ی این چـشمه می‌شوند عبارت‌اند از: ۱) شیب توپوگرافی که به سمت جنوب است و باعث انتقال آب از کوه چائونی در شمال به سمت چشمه‌ی گرداب در جنوب می‌شود. ۲) شیب لایه‌های کوه چائونی نیز به سمت چشمه‌ی گرداب (جنوب) می‌باشند و آب را به سمت چشمه انتقال می‌دهند ۳) مهم ترین پارامتر در ظهور و تغذیه چشمه‌ی گرداب و انتقال آب به چشمه، شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در منطقه می‌باشند.

شکستگی‌ها و گسل‌های عرضی باعث تخلیه و زهکشی آب کوه چائونی و نیز قسمتی از بخش شمال غربی تاقدیس خوشاب به بخش غربی گسل‌های چاره و بخش شمالی گسل منگره می‌شوند. در جنوب محور تاقدیس خوشاب گسل منگره با گسل ورنا با هم برخورد کرده و در محل تقاطع این دو گسل چشمه‌ی گرداب به وجود آمده و آب در امتداد گسل منگره به سمت چشمه گرداب هدایت می‌شود.

بیشترین نقاط تقاطع شکستگی در یال جنوبی تاقدیس خوشاب و در محل چشمه‌ی گرداب می‌باشد. با توجه به اینـکه این چشمه در محل تقاطع گسل‌ها می‌باشد، شکستگی‌ها از چگالی و توسعه زیادی برخوردار می‌باشند و میزان نفوذ و انتقال آب به درون سامانه‌ی کارستی این چشمه نیز زیاد می‌باشد. در نتیجه در این

منطقه‌ی پتانسیل آبی نیز زیاد می‌باشد. چشمه گرداب که پرآب‌ترین چشمه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد مؤید و تصدیق‌کننده‌ی این تحلیل ساختاری می‌باشد.

هیدروگراف چشمه‌ی گرداب نشان‌دهنده‌ی تأثیر ساختارهای تکتونیکی بر آبدهی، نوع جریان و همچنین عامل گل آلودی آب چشمه می‌باشد.

فروچاله‌ی چالاب که در اثر یک گسل عرضی و انحلال سنگ‌ها در بخش شمال غربی تاقدیس خوشاب به وجود آمده است باعث ایجاد کدورت و گل‌آلودگی آب چشمه‌ی گرداب در هنگام بارندگی می‌شود.

باتوجه به نتایج حاصل از مطالعات می‌توان گفت که هرچند که منبع کدورت آب چشمه‌ی گرداب با توجه به مطالعات ساختاری شناسایی شده است، ولی ترجیح داده می‌شود که با یک ردیابی مناسب بیشتر مورد تأیید قرار گیرد.

با توجه به اینکه فروچاله‌ی چالاب در زمین تقریباً مسطحی تشکیل شده است و امکان دسترسی به آن نیز وجود دارد با تمهیدات کم‌هزینه‌ای (خاک‌ریزی اطراف آن) می‌توان آب ورودی به آن را مهار کرد و از آلودگی آب چشمه‌ی گرداب جلوگیری کرد.

منابع

ـ چیت‌سازان، منوچهر؛ سیدی‌پور، مسعود و یحیی میرزایی (۱۳۸۷)، **تعیین خصوصیات آبخوان کارستی چشمه‌ی برم جمال با استفاده از پاسخ‌های فیزیکی شیمیایی**، مجله‌ی آب و فاضلاب، شماره‌ی ۶۸، صص ۷۷-۷۲ .

ـ حاجی علی‌بیگی، حسین؛ علوی، احمد؛ افتخارنژاد، جمشید و محمد مختاری (۱۳۹۱)، **تحلیل هندسی چین‌خوردگی مرتبط با گسلش مدفون فعال بالارود، مطالعه‌ی موردی: تاقدیس سیاه‌کوه، جنوب باختر ایران**، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی ایران، سال ششم، شماره‌ی ۲۱، صص ۲۵-۳۹.

ـ خوبیاری، علی؛ کلانتری، نصراله و علی سرافراز (۱۳۹۰)، **بررسی هیدروشیمیایی چشمه‌های منطقه مسجد سلیمان و لالی در شمال شرق استان خوزستان**، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.

ـ سحابی، فریدون (۱۳۹۰)، **مطالعه‌ی سازوکار گسل بالارود در شمال فروبار دزفول و نقش آن در ویژگی‌های ساختاری منطقه، حوضه‌ی رسوبی زاگرس، جنوب غرب ایران**، ششمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران .

کلانتری، نصراله، کشاورزی، محمدرضا، چرچی، عباس (۱۳۸۸)، **عوامل مؤثر در ظهور چشمه‌های حوضه‌ی آبریز دشت ایذه**، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۲، ۱۳۵صص -۱۴۷.

-Alavi, M., (2004), **Regional Stratigraphy of the Zagros Fold-thrust Belt of Iran and Its Proforeland Evolution**, American Journal of Science, No. 304, PP. 1-20.

-Alavi, M., (2007), **Structures of the Zagros Fold-thrust Belt in Iran**, American Journal of Science, 307, 1064-1095.

-Apaydin, A., (2010), **Relation of Tectonic Structure to Groundwater Flow in the Beypazari Region**, NW Anatolia, Turkey, Hydrogeology Journal, No.18: PP. 1343–1356

-Bense, V.F., Gleeson, T., Loveless, S.E., (2013), **Fault Zone Hydrogeology**, Earth-Science Reviews 127 (2013), PP. 171–192.

-Berberian, M., (1995), **Master Blind Thrust Faults Hidden under the Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics**, Tectonophysics, No. 241, PP. 193-224.

-Elhatip, H. and Gunay, G., (1988), **Karst Hydrogeology of the Kas-Kalkan Springs Along the Mediterranean Coast of Turkey**, Environmental Geology, No. 36, PP. 1-12.

-Fisher, Q. and Knipe, R., (1998), **Fault Sealing Processes in Siliciclastic Sediment, in Faulting, Fault Sealing and Fluid Flow in Hydrocarbon Reservoirs**, Geol Soc Lond. Spec Publ, No. 147, PP. 117–134.

-Fulljames JR, Zijerveld JJ, Franssen RCMW (1997), **Fault Seal Processes: Systematic Analysis of Fault Seals over Geological and Production Time Scales, in Hydrocarbon Seals: Importance for Exploration and Production**, Norwegian Petrol Soc Spec Publ, No. 9, PP. 51–59.

-Mal'kovskii V., Pek A. (2001), **Evaluation of the Tnfluence of a Highly Permeable Fault on Transport of Pollutants by the Local Groundwater flow**, Geol Ore Deposits, 43, PP. 216–223.

-Ofoegbou GI, Painter S, Chen R, Ferril DA (2001), **Geomechanical and Thermal Effects on Moisture Flow at the Proposed Yucca Mountain Nuclear Waste Repository**, Nucl Technol, 134, PP. 241–262.

-Rahnemaei, M., (2005), **Application of Spectral Analysis of Daily Water Level and Spring Discharge Hydrographs Data for Comparing Physical Characteristics of Karstic Aquifers**, Journal of Hydrology, 311, PP. 106-116.

-Rawling GC, Goodwin LB, Wilson JL (2001), **Internal Architecture, Permeability Structure, and Hydrologic Significance of Contrasting Fault Zone Types**, Geology, 27, PP. 43–46.

-Rojstaczer S, Wolf S, Michel R. (1995), **Permeability Enhancement in the Shallow Crust as a Cause of Earthquake-induced Hydrological Changes**, Nature, 373, PP. 237–239.

-Wieck J, Person M, Stayler L. (1995), **A Finite Element Method for Simulating Fault Block Motion and Hydrothermal Fluid Flow within Rifting Basins**, Water Resour Res, 31, PP. 3241–3258.