

بررسی هیدروژئولوژیک چشمه‌های سازند آغاچاری در منطقه مسجد سلیمان و لالی در شمال شرق استان خوزستان

علی خویباری^(۱*)، نصراله کلانتری^۲، عباس چرچی^۳ و محمدرضا کشاورزی^۴

۱. کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاددانشگاهی

۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۳

تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۳

چکیده

منطقه مورد مطالعه با پوشش قابل ملاحظه‌ای از واحدهای ماسه‌سنگی در شمال شرق استان خوزستان واقع شده است. هدف از انجام این تحقیق بررسی خصوصیات هیدروژئولوژی منطقه و تعیین عوامل مؤثر بر آبدهی چشمه‌های موجود در منطقه است. در این راستا مطالعات چینه‌شناسی، لیتولوژی و ساختاری انجام شده است و جهت بررسی خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی منطقه از چشمه‌ها نمونه‌برداری شده است. نتایج نشان می‌دهد در بخش‌هایی از منطقه که ضخامت ماسه‌سنگ قابل ملاحظه و تراکم شکستگی‌ها بیشتر است، آبخوان ماسه‌سنگی از ذخیره بیشتری برخوردار بوده و چشمه‌ها دارای آبدهی بیشتری می‌باشند. علاوه بر این محل ظهور چشمه‌ها با فراوانی شکستگی‌های منطقه انطباق نزدیکی نشان می‌دهد. داده‌های هیدروشیمیایی نیز نشان می‌دهد که چینه‌شناسی منطقه نقش مهمی در کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی ایفا می‌نماید. همبستگی بین یون‌های سولفات و کلسیم ($R=0/90$) مؤید فرایند انحلال ژپس و انیدریت در منطقه است، به طوری که تپ آب اکثر چشمه‌ها سولفات‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: هیدروژئولوژی، چشمه، آب زیرزمینی، ماسه‌سنگ.

مقدمه

و لالی) نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از میزان بارندگی نسبتاً متوسطی برخوردار بوده و طبق طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک است. به طوری که میانگین بارش سالانه در طول دوره آماری ۴۴۵ میلیمتر و میانگین دمای سالانه در حدود ۲۵ درجه سانتیگراد می‌باشد و بیشتر بارندگی‌های منطقه نیز در فصل زمستان رخ می‌دهد.

شناخت وضعیت آب زیرزمینی هر منطقه نیازمند شواهد مختلفی مانند پیژومتر، چاه بهره‌برداری، چشمه، قنات و دیگر شواهد موجود در منطقه است. در منطقه مورد مطالعه هیچگونه پیژومتر، قنات و چاه بهره‌برداری وجود ندارد و چشمه‌ها تنها نمایانگر شرایط

منطقه مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۷۰۰ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی $54^{\circ} 48'$ تا $22^{\circ} 49'$ و عرض جغرافیایی $31^{\circ} 55'$ تا $20^{\circ} 32'$ در شمال شرق استان خوزستان واقع شده است. مهمترین راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه، راه ارتباطی اهواز - مسجد سلیمان بوده و مسجد سلیمان و لالی مهمترین شهرستان‌های موجود در محدوده مورد مطالعه می‌باشند، به طوری که شهرستان مسجد سلیمان در بخش جنوب شرقی منطقه و شهرستان لالی در مرز شمالی محدوده مورد مطالعه واقع شده است. آمار ۳۵ ساله ایستگاه‌های هواشناسی منطقه (مسجد سلیمان

* نویسنده مرتبط akhoobyari@gmail.com

بررسی خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی منطقه از چشمه‌های منطقه در خرداد ماه سال ۱۳۸۸ نمونه‌برداری انجام شد. بدین منظور از بطری‌های پلی‌اتیلنی استفاده گردید و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها (تعیین عناصر اصلی) در آزمایشگاه آب و خاک سازمان آب و برق خوزستان انجام شد. در جدول ۱ خصوصیات چشمه‌های منطقه از قبیل مختصات، آبدهی و مساحت سطحی حوضه آبریز چشمه‌ها ارائه شده است. جهت تعیین حوضه آبریز چشمه‌ها، موقعیت آن‌ها بر روی نقشه توپوگرافی پیاده گردیده و بر اساس شبکه هیدروگرافی منطقه، مساحت سطحی حوضه آبریز چشمه‌ها با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تعیین گردیده است.

در مرحله دوم با توجه به اهمیت شکستگی‌ها در ظهور چشمه‌های منطقه، با استفاده از نرم افزار ENVI ۴.۰ خطواره‌های منطقه از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است. بدین منظور از باندهای ۴، ۷ و ۲ تصویر ماهواره‌ای سنجنده Landsat TM 2002 - استفاده شده است. جهت بارزسازی عوارض خطی منطقه، با توجه به روند چین‌خوردگی منطقه فیلتر مناسبی در جهات شمال شرق - جنوب غرب و شمال غرب - جنوب شرق بر منطقه اعمال شده است. جهت تفکیک شکستگی‌ها از دیگر پدیده‌های خطی مانند جاده‌ها، خطوط انتقال نفت، 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، نقشه چگالی شکستگی‌های منطقه تهیه شده است.

نتایج و بحث

چینه‌شناسی منطقه

سازندهای رخنمون یافته در منطقه از قدیم به جدید (میوسن) آغازین تا پلیوسن پایانی) شامل سازندهای گچساران، میشان، آغاچاری، بخش لهری و کنگلومرای بختیاری می‌باشند. سازند آغاچاری با مساحتی نزدیک به ۳۸۰ کیلومتر مربع بیشتر مساحت منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته و عمدتاً به صورت تناوب مارن و ماسه‌سنگ دیده می‌شود. ضخامت رخساره ماسه‌سنگی سازند آغاچاری در منطقه کمتر از ۱ تا بیش از ۱۰ متر متغیر است. زیاد بودن ضخامت لایه‌های ماسه‌سنگی در برخی نقاط و توسعه شکستگی‌ها در ماسه‌سنگ‌های منطقه، در ایجاد چشمه‌های مهم منطقه و آگیری آن‌ها نقش مؤثری داشته است. مساحت کمی از منطقه مورد مطالعه نیز توسط رسوبات آبرفتی پوشیده شده است، آبرفت‌های منطقه دانه ریز و عمدتاً دارای ترکیب مارنی می‌باشند. به جز آبرفت‌های موجود در محدوده شمالی مسجد سلیمان که دارای ترکیب کنگلومرای می‌باشند، بقیه آبرفت‌های موجود در منطقه از نظر آب زیرزمینی فقیر هستند. با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی شرکت ملی نفت با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ (شیت‌های مسجد سلیمان و لالی) و مطالعات میدانی، نقشه زمین‌شناسی منطقه تهیه شده و در شکل ۱ ارائه شده است. همچنین در شکل‌های ۲ و ۳ تصویری از رخنمون سازند آغاچاری در منطقه و درصد مساحت سازندهای منطقه ارائه شده است.

هیدروژنولوژیکی منطقه محسوب می‌شوند و شرایط درونی آبخوان را منعکس می‌سازند. آب پس از نفوذ در زمین وقتی به دلایل مختلف قادر به حرکت عمودی نباشد، در صورت مساعد بودن شرایط زمین‌شناسی، به طور افقی حرکت کرده و به صورت چشمه در سطح زمین ظهور می‌یابد. بارزترین نوع این چشمه‌ها، چشمه‌های کتاکتی می‌باشند که در ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در منطقه مورد مطالعه به وفور ظهور یافته‌اند. هر چند که چشمه‌های موجود در منطقه دارای آبدهی زیادی نمی‌باشند ولی با توجه به وسعت نسبتاً زیاد و خصوصیات اقلیمی منطقه مورد مطالعه، دارای اهمیت بسیار زیادی هستند و بخش مهمی از آب مورد نیاز منطقه (مصارف دام و شرب بعضی روستاها) را تأمین می‌کنند. که این امر آن‌ها را به منابع گرانبهایی مبدل ساخته است و ضرورت انجام تحقیق را افزایش می‌دهد. با توجه به این‌که چشمه‌ها در شناخت هیدروژنولوژی به ویژه سازندهای سخت دارای اهمیت زیادی هستند، مطالعات فراوانی بر روی آن‌ها در سطح جهان و ایران انجام شده است (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸؛ کرمی، ۱۳۸۸؛ چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۸۷؛ حمیدی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷؛ صاحب‌دل و همکاران، ۱۳۸۷؛ خوبیاری و همکاران، ۱۳۹۰؛ Rahnamaei, 2005؛ Elhatip and Gunay, 1998). همچنین در ارتباط با مخازن آب زیرزمینی در ماسه‌سنگ‌ها، در دنیا تحقیقات متعددی انجام شده است (Rouabhia؛ Kalantari et al., 2010؛ Jansen and Taylor, 2003؛ Bertolo et al., 2011؛ Goren et al., 2012). تحقیق حاضر نیز وضعیت هیدروژنولوژیکی سازند ماسه‌سنگی آغاچاری در بخشی از استان خوزستان را مورد بررسی قرار می‌دهد که بدین منظور خصوصیات چشمه‌ها و عوامل مؤثر بر آبدهی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است و در پایان نیز خصوصیات شیمیایی آب چشمه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در مرحله اول این تحقیق، نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده در این مرحله شامل نقشه 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 برگرفته از سنجنده Landsat TM - 2002 و عکس‌های هوایی سازمان نقشه‌برداری کشور با مقیاس ۱/۴۰۰۰۰ است.

طی چندین مرحله بازدید از منطقه، موقعیت چشمه‌ها توسط دستگاه GPS برداشت شده است و آبدهی آن‌ها به روش جسم شناور اندازه‌گیری شده است. علاوه بر این، در نقاط مختلف منطقه برداشت‌های چینه‌شناسی، لیتولوژیکی و ساختاری انجام گردیده است و در ۲۳ ایستگاه (بالادست چشمه‌ها) برداشت درزه و شکستگی انجام شده است و خصوصیات شکستگی‌ها شامل مختصات، میزان بازشدگی و فاصله آن‌ها اندازه‌گیری شده است. همچنین جهت

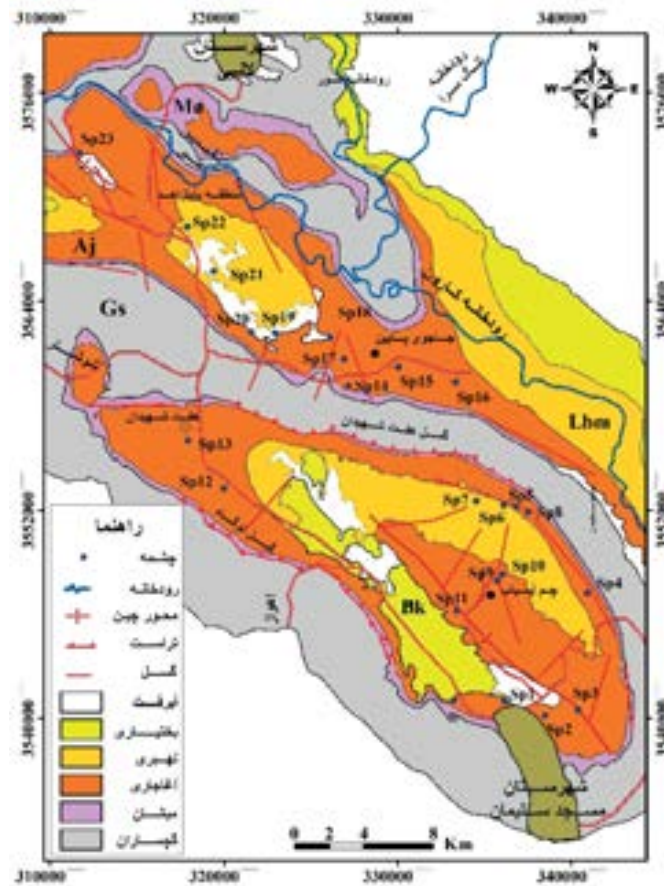
جدول ۱. مشخصات چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه.

نام چشمه	شناسه چشمه	Y	X	ارتفاع مظهر چشمه (m)	آبدهی (L/s)	مساحت حوضه آبریز چشمه (km ²)
چشمه علی	Sp ₁	۳۵۴۰۹۸۳	۳۳۵۹۹۲	۳۰۷	۵	۱/۵
نصیر آباد	Sp ₂	۳۵۴۰۱۷۶	۳۳۸۳۱۵	۲۷۵	۳	۶/۵
پیر	Sp ₃	۳۵۴۰۴۸۵	۳۴۰۲۱۰	۳۵۴	<۱	۰/۸
چشمه ایناق	Sp ₄	۳۵۴۷۲۴۰	۳۴۰۷۶۲	۶۲۰	۱/۵	۲/۷
دره گوری	Sp ₅	۳۵۵۲۲۱۶	۳۳۶۶۱۸	۴۵۵	۱	۲/۵
بنو	Sp ₆	۳۵۵۲۳۰۷	۳۳۵۹۴۶	۴۷۲	<۱	۰/۵
محمد خانی	Sp ₇	۳۵۵۲۵۳۰	۳۳۴۳۶۸	۴۳۶	<۱	۲
علیشاه	Sp ₈	۳۵۵۱۸۹۶	۳۳۷۳۴۷	۵۲۱	۲	۱
چم آسیاب	Sp ₉	۳۵۴۷۹۴۷	۳۳۵۵۶۸	۳۶۱	۲۰	۱۵
حسن آباد	Sp ₁₀	۳۵۴۸۳۱۰	۳۳۵۸۷۲	۳۶۸	۲	۳/۲
نم نم	Sp ₁₁	۳۵۴۶۲۱۸	۳۳۲۲۲۹	۲۷۱	۲	۱/۲
توگاه	Sp ₁₂	۳۵۵۳۲۶۱	۳۱۹۸۵۷	۳۵۷	<۱	۱/۳
هفت شهیدان	Sp ₁₃	۳۵۵۵۹۴۸	۳۱۷۷۸۱	۳۴۸	۳	۵/۵
جاجوی بالا	Sp ₁₄	۳۵۵۹۰۷۹	۳۲۷۰۴۳	۳۱۸	<۱	۰/۸۲
سلیران	Sp ₁₅	۳۵۶۰۱۷۱	۳۲۹۸۹۳	۳۳۴	۲	۶/۵
دره پاریاب	Sp ₁₆	۳۵۵۹۳۱۸	۳۳۳۱۹۵	۳۱۸	۲	۱/۵
جاجوی پایین	Sp ₁₇	۳۵۶۰۶۵۰	۳۲۶۷۵۳	۲۵۱	۴	۷/۵
علمداری	Sp ₁₈	۳۵۶۱۸۷۸	۳۲۵۹۴۲	۲۱۸	۱	۳/۳
تلخاب تاج‌الدین	Sp ₁₉	۳۵۶۲۱۵۴	۳۲۲۷۸۴	۲۰۸	۲	۱۱/۶
پر نوشته	Sp ₂₀	۳۵۶۲۲۱۱	۳۲۱۴۱۵	۲۳۰	۱/۵	۱/۲
قلعه راک	Sp ₂₁	۳۵۶۵۷۰۹	۳۱۹۲۷۱	۲۴۳	<۱	۳
بابا زاهد	Sp ₂₂	۳۵۶۸۲۵۹	۳۱۷۷۶۸	۱۹۹	۸	۶/۵
عنبر	Sp ₂₃	۳۵۷۲۵۱۸	۳۱۱۵۳۹	۳۱۳	۴	۲/۵

زمین‌شناسی ساختاری

از لحاظ زمین‌شناسی ساختاری، منطقه مورد مطالعه با روند شمال غرب - جنوب شرق جزء کمربند زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود. مهمترین ساختارهای زمین‌شناسی ایجاد شده در منطقه طاق‌دیس مسجد سلیمان در بخش جنوب شرقی منطقه و طاق‌دیس عنبر در بخش شمال غربی منطقه می‌باشد. وضعیت لایه‌بندی و تمرکز شکستگی‌ها در لایه‌های مجاور محور طاق‌دیس حاکی از شدت نیروهای تکتونیک در منطقه می‌باشد. در نتیجه این نیروها، گسل‌های متعددی نیز در منطقه ایجاد شده است. در شکل ۴ تصویر برخی از گسل‌های ایجاد شده در منطقه ارائه شده است.

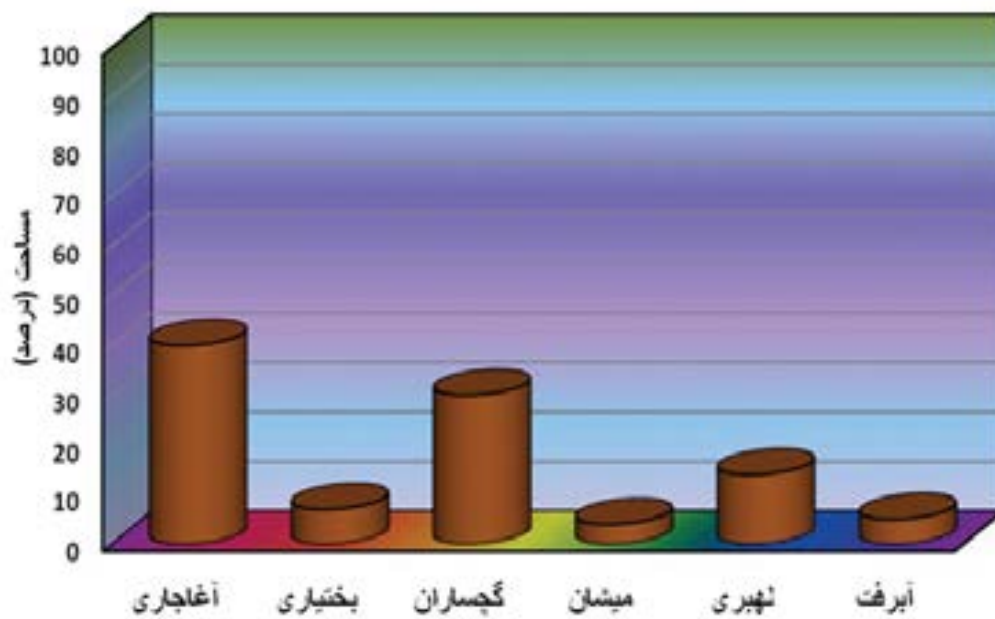
به جهت مقاومت سازند ماسه‌سنگی آجاجاری در برابر تنش‌های وارد شده، بیشتر شکستگی‌های منطقه در سازند آجاجاری توسعه یافته است. به عقیده (Singhal 1999) شکستگی‌ها از نظر هیدروژئولوژیکی مهمترین ساختارهای زمین‌شناسی به حساب می‌آیند. این ساختارها به عنوان نقاط ضعف سازندهای زمین‌شناسی، به جهت نفوذ آسان آب و محلی برای تمرکز آن به صورت مخازن زیرزمینی، از اهمیت زیادی در هیدروژئولوژی سازندهای ماسه‌سنگی برخوردار می‌باشند. جهت نمایش روند شکستگی‌های منطقه از نمودار گلسرخی استفاده شده است، نمودار گلسرخی شکستگی‌های منطقه (شکل



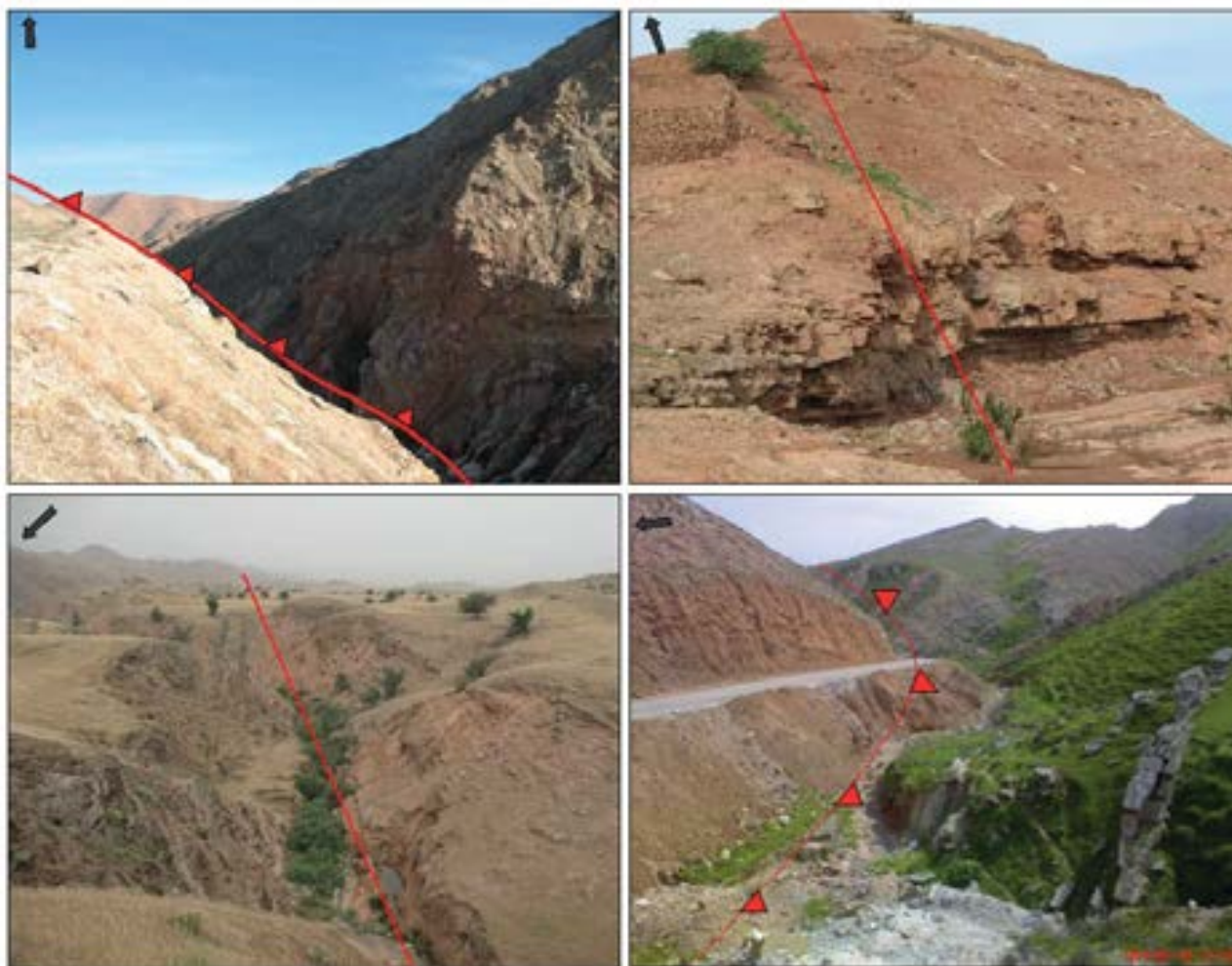
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی شرکت ملی نفت ایران).



شکل ۲. رخنمون سازند آغاچاری و کنگلومرای بختیاری در منطقه.



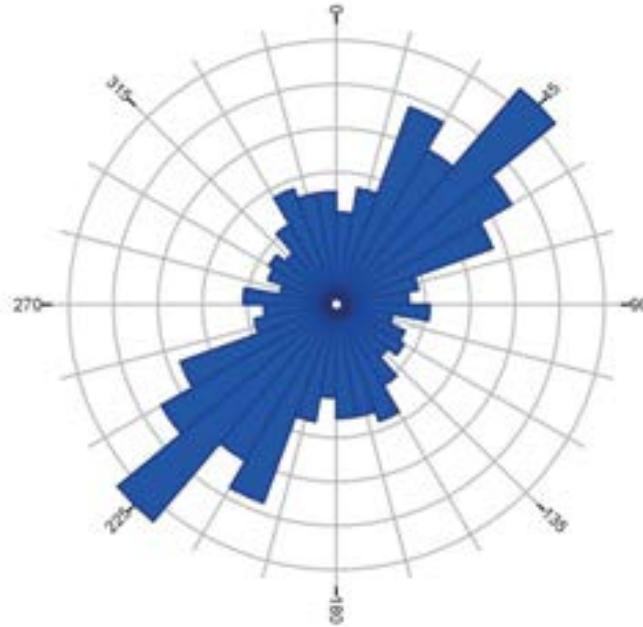
شکل ۳. نمودار درصد رخنمون سازندهای زمین شناسی در منطقه.



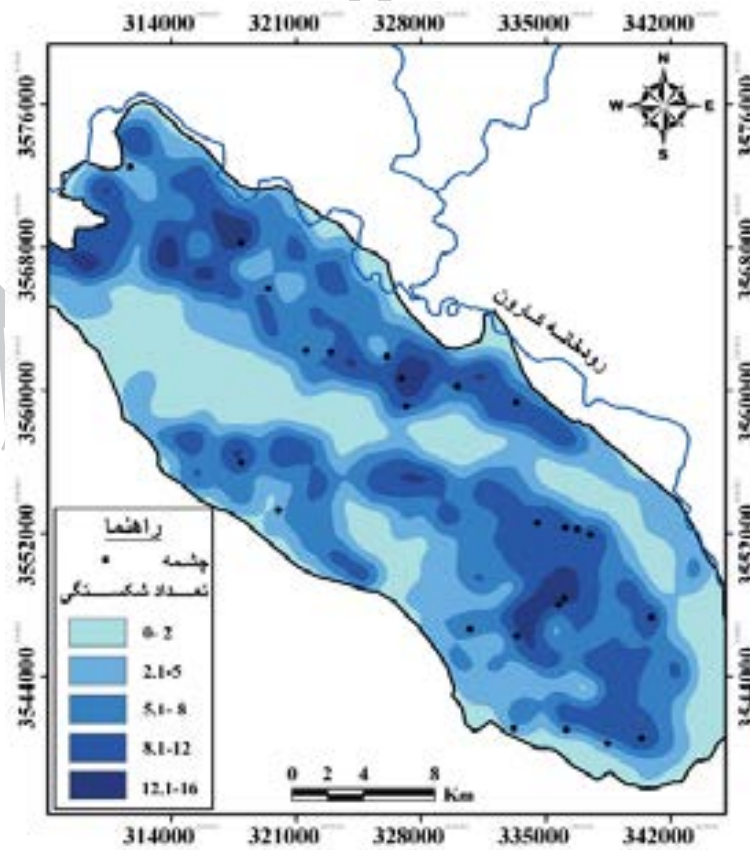
شکل ۴. تصویر برخی از گسل‌های ایجاد شده در منطقه (پیکان جهت شمال تصویر را نشان می‌دهد).

منطقه ارائه شده است و نشان می‌دهد که چشمه‌های منطقه اکثراً در محل‌هایی تشکیل شده‌اند که شکستگی‌ها از چگالی بیشتری برخوردار می‌باشند.

نشان می‌دهد که بیشتر شکستگی‌های منطقه به موازات محور تنش ماکزیمم و عمود بر روند چین‌خوردگی منطقه ایجاد شده‌اند. این شکستگی‌ها از نوع عرضی بوده و نقش مهمی در گردش آب در منطقه ایفا می‌نمایند. در شکل ۶ نیز نقشه چگالی شکستگی‌های



شکل ۵. نمودار گل‌سرخ‌ی شکستگی‌های منطقه.



شکل ۶. نقشه چگالی شکستگی‌های منطقه.

آبدهی چشمه‌های منطقه محسوب می‌شود. طبق مطالعات میدانی خاک‌های موجود در منطقه از نوع دانه ریز و عمدتاً از جنس مارن است، که این امر باعث می‌شود که در مناطق با پوشش خاکی زیاد، آب حاصل از بارش به‌صورت رواناب و سیلاب از منطقه خارج شود و آب ناچیزی به درون آبخوان نفوذ کند. طبق بازدیدهای میدانی متعدد، در ارتباط با چشمه‌های جاجوی بالا، علمداری، پرنوشته و قلعه راک مهمترین عامل در آبدهی این چشمه‌ها پوشش خاک منطقه با نفوذپذیری کم می‌باشد. در شکل ۷ تصویری از پوشش خاک در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

همچنین در مورد چشمه‌های پیر، بنو و محمدخانی بر اساس اندازه گیری‌های میدانی، ضخامت کم (کمتر از ۱ متر) طبقات ماسه‌سنگی تشکیل دهنده مخزن این چشمه‌ها باعث گردیده که این چشمه‌ها از آبدهی کمی برخوردار باشند. علاوه بر این عواملی چون مساحت حوضه آبریز چشمه‌ها، بازشدگی شکستگی‌ها و شیب توپوگرافی منطقه نیز از عوامل کنترل کننده آبدهی چشمه‌های منطقه محسوب می‌شوند.

چشمه چم آسیاب

چشمه چم آسیاب (Sp_9) یکی از چشمه‌های مهم در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود. این چشمه از نوع کنتاکتی- درزه و

خصوصیات آبخوان ماسه‌سنگی و ظهور چشمه‌ها

به جهت رخنمون وسیع سازند آجاجاری در منطقه مورد مطالعه و با توجه به لیتولوژی خاص این سازند که عمدتاً از جنس مارن و ماسه‌سنگ می‌باشد، آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه دارای وضعیت متمایزی است. عملکرد فرایندهای ساختاری در منطقه و ضخامت زیاد بخش ماسه‌سنگی سازند آجاجاری در برخی از نقاط منطقه باعث تشکیل آبخوان‌های ماسه‌سنگی شده است که به‌وسیله چشمه‌های متعددی در سطح زمین زهکشی می‌شوند. این چشمه‌ها از نوع کنتاکتی بوده و از محل تماس مارن و ماسه‌سنگ از درون شکستگی‌ها خارج می‌شوند. مهمترین چشمه‌های منطقه شامل چشمه‌های چم آسیاب، بابازاهد، چشمه علی، نصیرآباد، هفت شهیدان و جاجوی پایین می‌باشد. موقعیت چشمه‌های موجود در منطقه را بر روی نقشه زمین‌شناسی (شکل ۱) نشان داده شده است.

آبدهی چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در فصل خشک، کمتر از ۱ لیتر بر ثانیه تا بیش از ۲۰ لیتر بر ثانیه متغیر می‌باشد. همانگونه که قبلاً نیز بیان شد مهمترین عوامل کنترل کننده آبدهی چشمه‌ها در منطقه، توسعه شکستگی‌ها و ضخامت بخش ماسه‌سنگی سازند آجاجاری می‌باشد که شرایط تشکیل چشمه‌هایی با آبدهی نسبتاً مناسب در برخی نقاط از منطقه ایجاد شده است. همچنین پوشش خاک منطقه نیز از عوامل مهم در



شکل ۷. تصویری از پوشش خاک‌های مارنی در منطقه مورد مطالعه (منطقه علمداری).

این منطقه شکستگی‌های غالب دارای مختصات N40E/70SE می‌باشند و بازشدگی شکستگی‌ها در بالادست چشمه در حدود ۲ سانتیمتر می‌باشد که نقش مهمی در تغذیه چشمه ایفا می‌نماید.

چشمه بابازاهد

چشمه بابازاهد (Sp₂₂) در منطقه بابازاهد از توابع شهرستان لالی و در فاصله ۲۰ کیلومتری این شهرستان واقع شده است. ارتفاع مظهر چشمه ۲۰۰ متر از سطح دریا بوده و مساحت حوضه آبریز سطحی آن در حدود ۶/۵ کیلومتر مربع می‌باشد. چشمه بابازاهد یک چشمه دائمی بوده و آبدهی آن بستگی زیادی به میزان بارش در منطقه دارد. دبی چشمه در فصل خشک در حدود ۸ لیتر بر ثانیه می‌باشد.

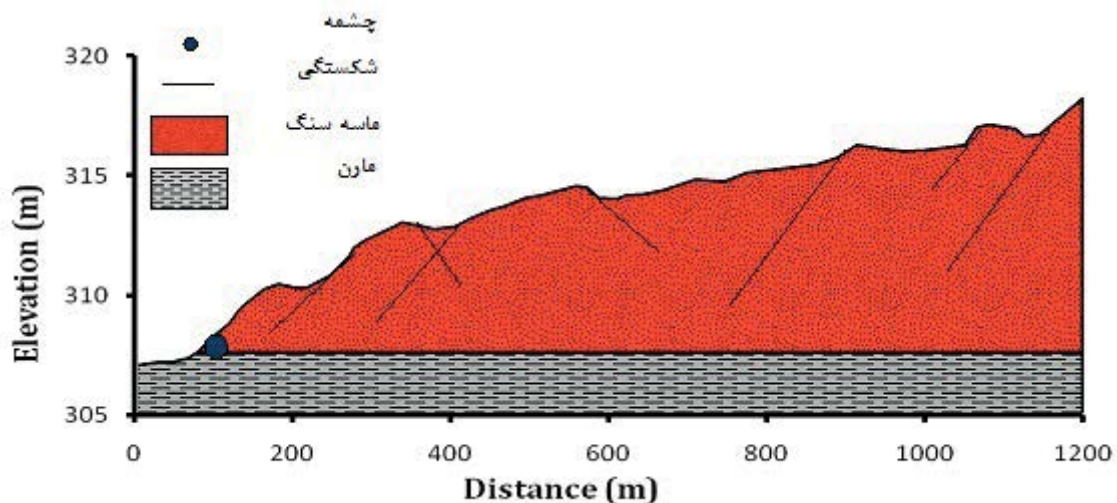
در منطقه بابا زاهد ضخامت ماسه‌سنگ نسبت به مناطق مجاور زیاد است و ضخامت لایه ماسه‌سنگی تشکیل دهنده مخزن چشمه بیش از ۱۰ متر می‌باشد. لایه‌بندی در منطقه بابازاهد دارای مختصات N35W/20,NE می‌باشد. همچنین وضعیت سیستم‌های درزه و شکستگی‌های منطقه در جدول ۲ ارائه شده است. سیستم درزه و شکستگی غالب از نوع شیبی (عمود بر امتداد لایه‌بندی) بوده و نقش مهمی در نفوذ آب در آبخوان و تغذیه چشمه ایفا می‌کند.

شکافی است و در مجاورت روستای چم‌آسیاب، در فاصله ۱۰ کیلومتری شمال مسجد سلیمان واقع شده است. ارتفاع مظهر چشمه ۳۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد. مساحت حوضه آبریز سطحی چشمه، در حدود ۱۵ کیلومتر مربع می‌باشد که بر میزان آبدهی چشمه نیز تأثیرگذار خواهد بود.

تراکم شکستگی‌ها در لایه‌های ضخیم ماسه‌سنگی در منطقه چم‌آسیاب، سبب افزایش ضریب ذخیره سازند شده است و باعث شده تا منطقه چم‌آسیاب از پتانسیل آب زیرزمینی مناسبی برخوردار گردد، که آبدهی چشمه چم-آسیاب مؤید این موضوع می‌باشد.

چشمه علی

چشمه علی (Sp₁) در شمال مسجد سلیمان واقع شده است و یکی دیگر از چشمه‌های مهم در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود. سازوکار تشکیل چشمه کتاکتی- درزه و شکافی بوده و از شکستگی‌های ماسه‌سنگ آغاچاری در محل تماس با مارن خارج می‌گردد. این چشمه یک چشمه دائمی بوده و آبدهی آن در فصل خشک در حدود ۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. در شکل ۸ مقطع زمین‌شناسی از محل ظهور چشمه ارائه شده است. همچنین ضخامت ماسه‌سنگ در منطقه چشمه علی بین ۸ تا ۱۰ متر می‌باشد و یکی از مهمترین عوامل آبدهی چشمه به حساب می‌آید. در



شکل ۸. مقطع زمین‌شناسی از محل ظهور چشمه علی (شمال شرق - جنوب غرب).

جدول ۲. مشخصات سیستم‌های درزه و شکستگی در منطقه بابازاهد.

دسته	مختصات	بازشدگی (Cm)	تعداد در واحد طول (m)	میانگین فاصله (m)
۱	N60E/80,SE	۲	۲	۰/۳۳
۲	N50W/75,SW	۱/۵	۱/۵	۰/۵

خصوصیات شیمیایی آب چشمه‌ها

کیفیت آب زیرزمینی در ماسه‌سنگ‌ها به عوامل متعددی بستگی دارد. به طور کلی آبخوآن‌های ماسه‌سنگی دارای کیفیت مناسبی هستند، اما ممکن است تحت تأثیر لیتولوژی و چینه‌شناسی منطقه تغییرات زیادی در کیفیت این منابع صورت گیرد. (Matthess 1973) عقیده دارد که کیفیت آب زیرزمینی در ماسه‌سنگ‌ها به

مواد تشکیل دهنده آن‌ها بستگی دارد.

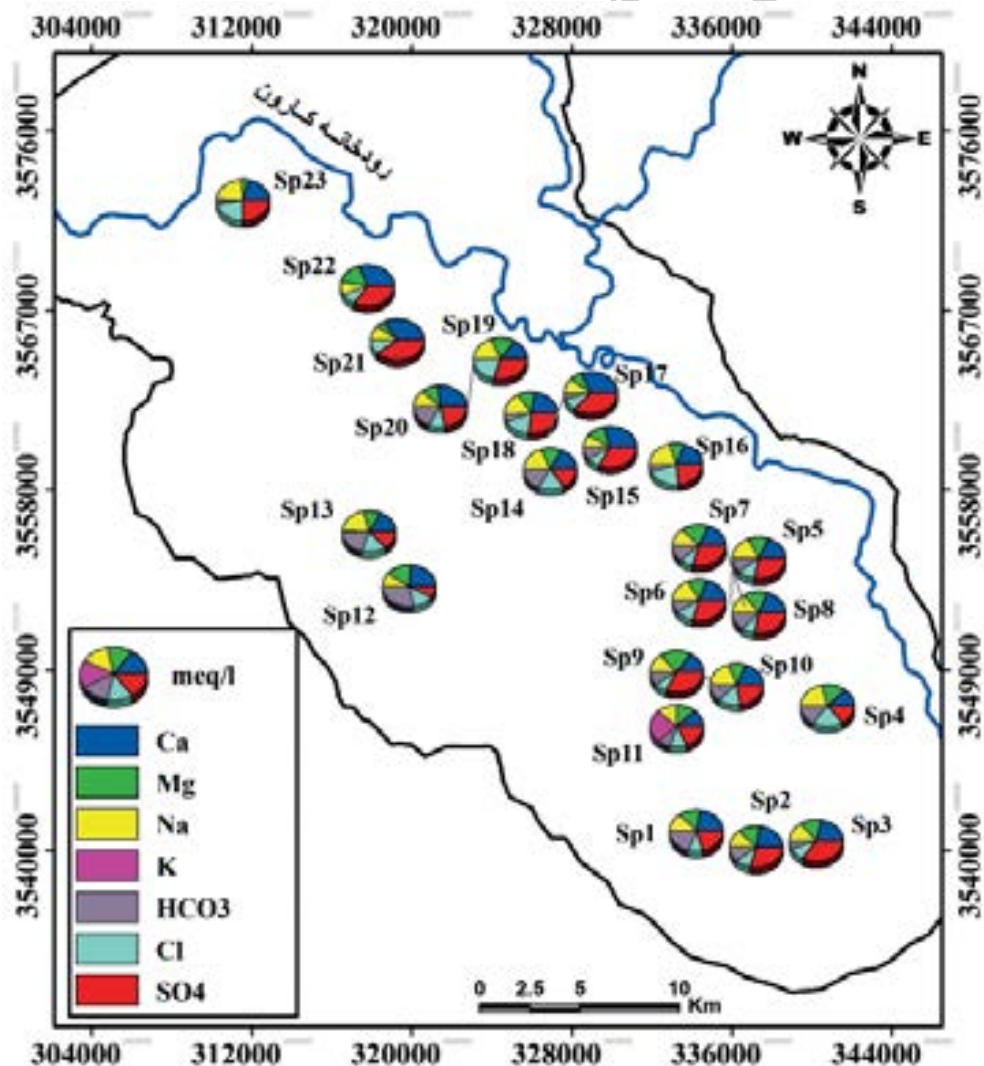
جهت بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه از چشمه‌های موجود در منطقه در یک دوره (خرداد ماه ۱۳۸۸) نمونه برداری صورت گرفته است و نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها (آنیون‌ها و کاتیون‌ها) در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه (meq/l).

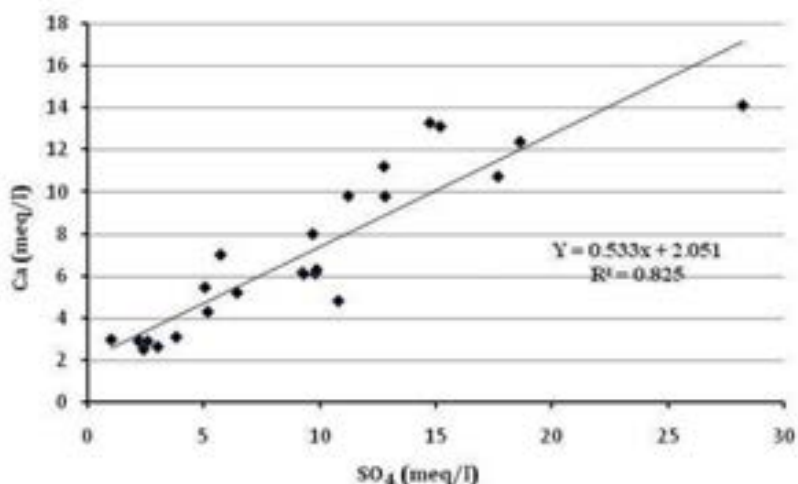
شماره نمونه	pH	EC (µmoh/Cm)	TDS	T (C°)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	رخساره هیدروشیمیایی
Sp1	۷/۲	۱۱۰۲	۷۷۱	۲۶/۶	۵/۴۶	۳/۸۳	۳/۱۶	۰/۱۳	۵/۰۵	۲/۶۴	۴/۶۸	Ca-SO ₄
Sp2	۷/۱	۱۹۸۱	۱۴۸۶	۲۶/۵	۹/۷۸	۶/۶۶	۵/۲۹	۰/۱۵	۱۲/۸۱	۴/۴۶	۴/۴	Ca-SO ₄
Sp3	۷/۹	۲۱۹۶	۱۶۴۷	۲۶	۱۰/۷۳	۷/۶۳	۶/۸۵	۰/۱۲	۱۷/۶۸	۴/۷۸	۲/۶۴	Ca-SO ₄
Sp4	۸/۲	۸۶۳	۵۵۲	۲۵/۵	۲/۶۴	۳/۵۹	۴/۶۵	۰/۱	۳/۰۱	۴/۶۸	۳/۰۹	Na-Cl
Sp5	۷/۳	۱۴۶۴	۱۰۹۸	۲۶/۵	۶/۱۲	۶/۲۴	۴/۱۷	۰/۰۷	۹/۸۱	۲/۸۸	۳/۷	Mg-SO ₄
Sp6	۷/۵	۱۵۸۷	۱۱۹۰	۲۶/۵	۶/۳	۵/۱	۵/۹۶	۰/۰۷	۹/۸۶	۴/۰۳	۳/۳۲	Ca-SO ₄
Sp7	۷/۴	۲۶۶۷	۲۱۳۴	۲۵/۵	۱۲/۳۷	۸/۴۵	۱۰/۶	۰/۱۸	۱۸/۶۳	۷/۴۱	۵/۳	Ca-SO ₄
Sp8	۸	۱۳۹۴	۱۰۴۵	۲۶	۶/۱۶	۵/۵۲	۴/۶۵	۰/۱۱	۹/۲۵	۳	۳/۹۸	Ca-SO ₄
Sp9	۸/۳	۱۲۴۴	۹۳۳	۲۸/۵	۴/۸۲	۷/۳۸	۴/۲۹	۰/۰۸	۱۰/۸	۲/۶۹	۲/۸۷	Mg-SO ₄
Sp10	۷/۲	۱۴۰۰	۹۸۰	۲۹	۵/۲۱	۳/۷۵	۵/۴۲	۰/۰۹	۶/۴۳	۴/۴۸	۳/۳۶	Na-SO ₄
Sp11	۶/۹	۲۰۴۴	۱۴۳۰	۲۸	۶/۱	۷/۳	۷/۰۱	۱۲	۹/۳۱	۶/۳۴	۴/۶۵	Na-SO ₄
Sp12	۷/۳	۶۳۴	۳۸۰	۲۷	۲/۹۸	۲/۲۲	۱/۱۶	۰/۰۶	۱/۰۱	۱/۶۹	۳/۵۲	Ca-HCO ₃
Sp13	۷/۴	۸۸۳	۵۴۷	۲۷	۲/۹	۲/۲	۳/۶	۰/۱۹	۲/۲۱	۳/۱	۳/۳۸	Na-HCO ₃
Sp14	۷/۷	۹۱۲	۵۴۷	۲۹	۲/۹	۲/۵	۳/۲۷	۰/۰۷	۲/۵۸	۳/۱۸	۲/۷۸	Na-Cl
Sp15	۷/۴	۱۹۶۵	۱۳۷۵	۲۶	۱۱/۲	۴/۹	۳/۱۶	۰/۱۷	۱۲/۷۷	۳/۲	۳/۲۴	Ca-SO ₄
Sp16	۷/۵	۲۱۲۴	۱۴۸۶	۲۷/۵	۸	۴/۴	۸/۵۵	۰/۰۹	۹/۶۹	۸/۹۸	۲/۱۴	Na-SO ₄
Sp17	۷/۳	۱۵۵۳	۱۰۸۱	۳۰	۹/۸	۲/۴	۲/۹۴	۰/۰۹	۱۱/۲۳	۲/۶۱	۱/۱۷	Ca-SO ₄
Sp18	۷/۹	۹۹۶	۶۹۷	۳۲	۴/۳	۲/۳۷	۳/۰۵	۰/۰۱	۵/۱۷	۳/۳۵	۱/۰۱	Ca-SO ₄
Sp19	۷	۴۵۶۴	۳۱۹۴	۲۳	۱۴/۱	۱۶/۱	۱۷/۶	۰/۱۸	۲۸/۲۳	۱۸/۹	۰/۵۹	Na-SO ₄
Sp20	۷/۲	۱۲۹۳	۹۰۵	۲۹	۷/۰۱	۳/۱۹	۳/۰۵	۰/۰۹	۵/۷۲	۳/۱۱	۴/۳	Ca-SO ₄
Sp21	۸/۵	۱۸۹۲	۱۳۲۴	۳۰	۱۳/۱	۲	۳/۹۴	۰/۱۳	۱۵/۱۹	۳/۴۸	۰/۲۸	Ca-SO ₄
Sp22	۷/۵	۱۸۰۴	۱۲۶۲	۲۹/۵	۱۳/۲۷	۶/۹۴	۳/۴۳	۰/۰۱	۱۴/۷۴	۳/۹۳	۰/۳۶	Ca-SO ₄
Sp23	۷/۹	۶۶۶	۴۶۶	۳۰	۳/۱	۰/۸۴	۳/۴۳	۰/۲۳	۳/۸۱	۳/۲۴	۰/۳۵	Na-SO ₄

همچنین نقشه نسبت غلظت عناصر محلول به صورت نمودارهای دایره‌ای در شکل ۹ ارائه شده است. این نمودارها وسیله مفیدی جهت مقایسه غلظت عناصر در یک نقطه و همچنین نقاط مختلف منطقه می‌باشد. همانگونه که ملاحظه می‌شود یون سولفات در منطقه دارای غلظت زیادی می‌باشد. انحلال رگه‌های ژپس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) و انیدریت (CaSO_4) موجود در طبقات مارنی سازند آغاچاری تأثیر زیادی در ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی منطقه داشته است. همچنین رخنمون وسیع سازند تبخیری گچساران در منطقه باعث تغییرات هیدروشیمیایی زیادی در منطقه شده است. مجموعه شبکه آبراه‌های شکل گرفته بر روی سازند گچساران با انحلال نمک‌ها و شستشوی کانی‌های سولفات‌دار مانند ژپس، انیدریت و سپس با تغذیه آبخوان، باعث تغییرات زیادی در کیفیت شیمیایی آب چشمه‌های منطقه شده است. همبستگی زیاد ($R=0.90$) بین یون‌های سولفات و کلسیم در آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی (شکل ۱۰) مؤید فرایند انحلال کانی‌های ژپس و انیدریت در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

میزان هدایت الکتریکی (EC) آب زیرزمینی منطقه نیز بیانگر تغییرات هیدروشیمیایی زیادی است. چشمه‌های توگه (Sp_{12}) و عنبر (Sp_{23}) به جهت ضخامت بیشتر بخش ماسه‌سنگی سازند آغاچاری نسبت به بخش مارنی (حاوی رگه‌های ژپس، انیدریت و کلرید سدیم)، دارای کمترین میزان EC در منطقه می‌باشند. طبق بررسی‌های میدانی و مطالعات لیتولوژیکی در منطقه، علاوه بر ترکیبات کلرید سدیم، بخش مارنی سازند آغاچاری حاوی ترکیبات سولفیدی از قبیل رگه‌های ژپس و انیدریت می‌باشد که با انحلال این نمک‌ها باعث تغییر کیفیت آب زیرزمینی منطقه می‌شود. بدین جهت در بخش‌هایی از منطقه که ضخامت بخش مارنی سازند آغاچاری کمتر است، آب زیرزمینی از کیفیت بهتری برخوردار می‌باشد.



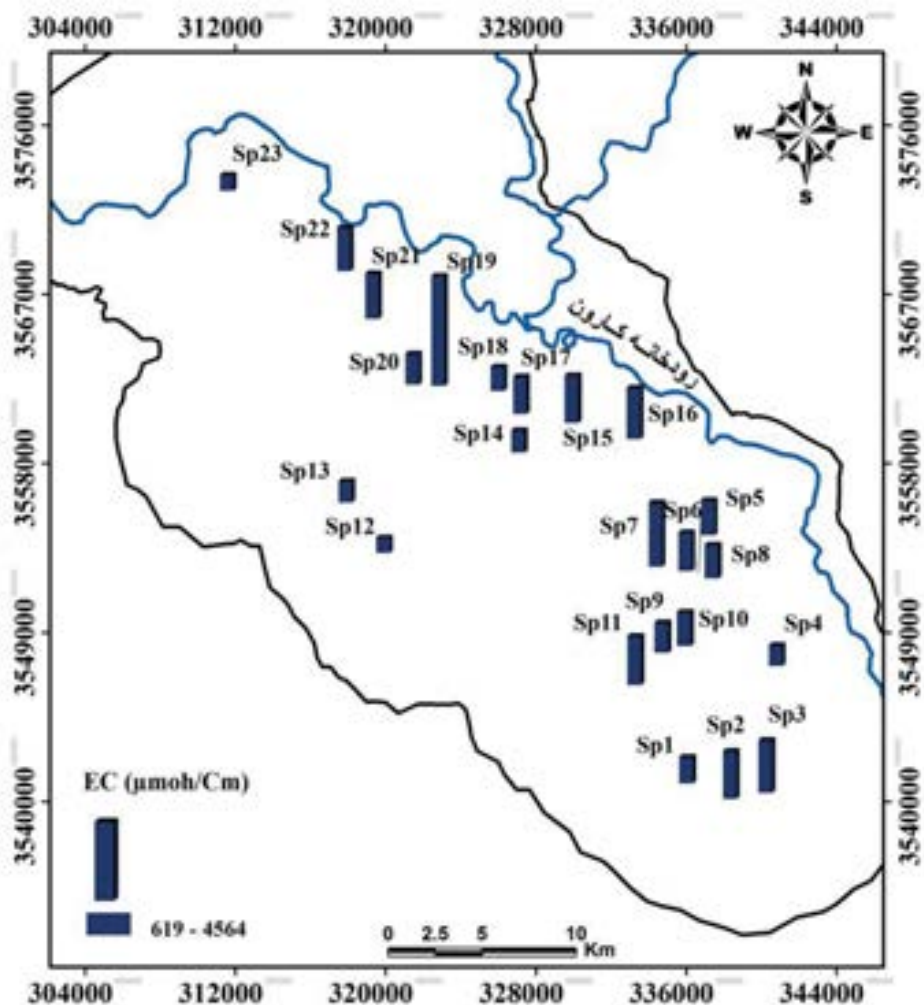
شکل ۹. نقشه نسبت غلظت عناصر محلول در آب زیرزمینی منطقه.



شکل ۱۰. نمودار همبستگی بین سولفات و کلسیم در منطقه مورد مطالعه.

به خود اختصاص داده است که این امر به جهت تغذیه چشمه از شورابه‌های سازند گچساران می‌باشد. در شکل ۱۱ نقشه تغییرات EC آب زیرزمینی منطقه ارائه شده است.

از سوی دیگر چشمه تلخاب تاج‌الدین (Sp19) با EC نزدیک به ۴۵۶۰ میکروموس بر سانتیمتر دارای بیشترین میزان EC در منطقه است. بطوریکه این چشمه جهت شرب و کشاورزی دارای کیفیت نامطلوبی است و بدترین کیفیت در منطقه مورد مطالعه را



شکل ۱۱. نقشه تغییرات EC آب زیرزمینی منطقه.

۴-۱- رخساره‌های هیدروشیمیایی

رخساره‌های هیدروشیمیایی برای نشان دادن اختلاف در ترکیب شیمیایی آب‌ها و تعیین توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمیایی متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرند (Fetter, 2001). با استفاده از نرم افزار Rock ware Aq.QA و نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه (شکل ۱۲)، رخساره‌های هیدروشیمیایی تعیین شده است. بر این اساس شش رخساره هیدروشیمیایی شامل سولفات - کلسیک، سولفات - منیزیک، سولفات - سدیک، کلروره - سدیک، بی‌کربناته سدیک و بی‌کربناته - کلسیک در منطقه مورد مطالعه وجود دارد.

نتیجه‌گیری

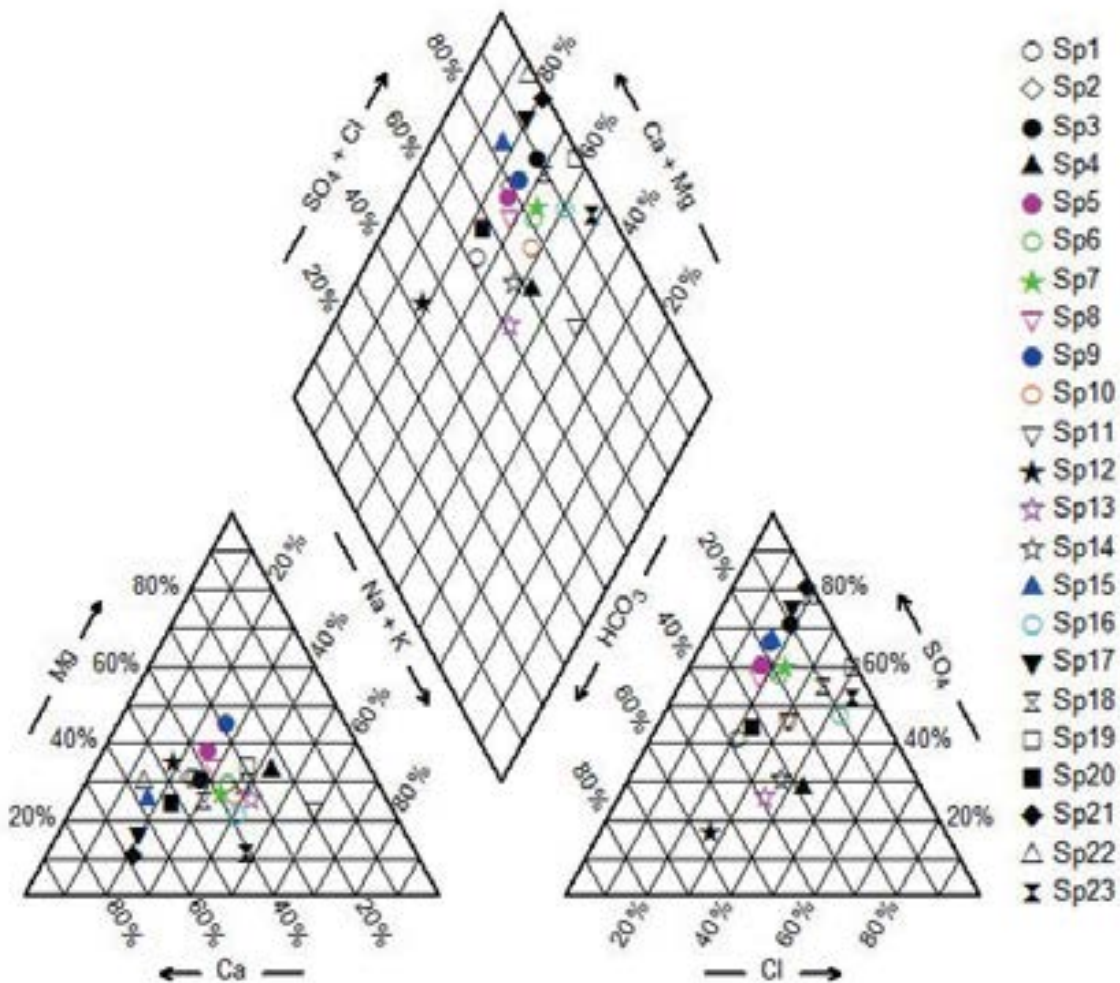
در نتیجه نیروهای تکتونیکی، چین‌خوردگی، گسل‌خوردگی و شکستگی‌های متعددی در منطقه ایجاد شده است. بیشتر شکستگی‌های ایجاد شده در منطقه از نوع عرضی هستند و نقش مهمی در گردش آب ایفا می‌نمایند. به‌علاوه چشمه‌های منطقه اکثراً در مکان‌هایی ایجاد شده‌اند که شکستگی‌ها دارای چگالی

بیشتری می‌باشند.

عملکرد فرایندهای ساختاری در منطقه و ضخامت زیاد بخش ماسه‌سنگی سازند آجاجاری در برخی نقاط باعث تشکیل آبخوان ماسه‌سنگی شده است، که به‌وسیله چشمه‌های متعددی در سطح زمین زهکشی می‌شود. اکثر این چشمه‌ها از نوع کتاکتی هستند و از محل تماس مارن و ماسه‌سنگ خارج می‌شوند.

مهمترین عوامل کنترل‌کننده آبدهی چشمه‌ها در منطقه، توسعه شکستگی‌ها و ضخامت بخش ماسه‌سنگی سازند آجاجاری می‌باشد. همچنین عواملی چون پوشش خاک، مساحت حوضه آبریز چشمه‌ها، بازشدگی شکستگی‌ها و شیب توپوگرافی منطقه از دیگر عوامل کنترل‌کننده آبدهی چشمه‌های موجود محسوب می‌شوند.

انحلال رگه‌های ژیپس و انیدریت موجود در طبقات مارنی سازند آجاجاری و رخنمون سازند گچساران در منطقه مورد مطالعه تأثیر مهمی در کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه داشته است.



شکل ۱۲. نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه.

منابع

- Fetter, C.W., 2001. Applied Hydrogeology. 4th edition, Prentice Hall. 598.
- Goren, O., Gavrieli, I., Burg, A. and Lazar, B., 2012. Cation exchange and CaCO₃ dissolution during artificial recharge of effluent to a calcareous sandstone aquifer. Journal of Hydrology, 400, 165-175.
- Jansen, J. and Taylor, R., 2003. Time domain electromagnetic induction survey of the sandstone aquifer in the lake Winnebago Area in United States. DNR Project.
- Kalantari, N., Khoobyari, A., Charchi, A. and Keshavarzi, M.R., 2010. Deciphering groundwater potential zones in sandstone terrain Based on GIS applications (Case study: Masjed-e- Soleiman, Iran), The 1st international applied Geological congress in Iran.
- Matthes, G., 1973. Die Beschaffenheit des Grundwassers, Lehrbuch der Hydrogeologie. gebrueder Borntraeger, Berlin Stuttgart.
- Nastev, M., Morin, R., Godin, R. and Rouleau, A., 2008. Developing conceptual hydrogeological model for Potsdam sandstones in southwestern Quebec, Canada. Hydrogeology Journal, 16, 373-388.
- Rahnamaei, 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, 106-116.
- Rouabhia, A., Baali, F., Fehdi, Ch., Kherici, N. and Djabri, L., 2008. Hydrochemical and isotopic investigation of a sandstone aquifer groundwater in a semi arid region, El Ma El Abiod, Algeria. Environmental Geology, 57, 8, 1699-1705.
- Singhal, B.B.S, and Gupta, R.P, 1999. Applied Hydrogeology of Fractured Rocks. Department of Earth Sciences University of Roorkee, India, Kluwer Academic Publishers, 400.
- چیت‌سازان، م.، سیدی پور، م. و میرزایی، س.ی.، ۱۳۸۷. تعیین خصوصیات آبخوان کارستی چشمه برم جمال با استفاده از پاسخ‌های فیزیکی - شیمیایی. مجله آب و فاضلاب، ۶۸، ۶۷-۷۱.
- حمیدی‌زاده، ف.، کلانتری، ن.، کشاورزی، م.ر. و صاحب‌دل، م.، ۱۳۸۷. مقایسه هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی منطقه شیمبار استان خوزستان. دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز.
- خویباری، ع.، کلانتری، ن.، سرافراز، ع. و فاضلی، م.، ۱۳۹۰. بررسی هیدروشیمیایی چشمه‌های منطقه مسجد سلیمان و لالی در شمال شرق استان خوزستان. پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- صاحب‌دل، م.، کلانتری، ن.، حمیدی‌زاده، ف. و کشاورزی، م.ر.، ۱۳۸۷. بررسی ارتباط بین نوع شکستگی‌ها و رفتار هیدرولیکی سنگ مخزن چشمه‌های کارستی منطقه شیمبار، شمال شرق استان خوزستان. دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز.
- کلانتری، ن.، صاحب‌دل، م.، حمیدی‌زاده، ف. و کشاورزی، م.ر.، ۱۳۸۷. بررسی عوامل کنترل‌کننده ظهور و آبدهی چشمه‌های منطقه شیمبار شمال شرق استان خوزستان. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.
- کلانتری، ن.، کشاورزی، م.ر. و چرچی، ع.، ۱۳۸۸. عوامل مؤثر در ظهور چشمه‌های حوضه آبریز دشت ایذه. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، ۲، ۱۳۵-۱۴۷.
- کرمی، غ.ح.، ۱۳۸۸. نقش چینه‌شناسی در توسعه کارست در حوضه آبگیر چشمه علی دامغان. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی (مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان)، ۳۶، ۳۹-۵۲.
- Bertolo, R., Bourotte, C., Hirata, R., Marcolan, L. and Sracek, O., 2011. Geochemistry of natural chromium occurrence in a sandstone aquifer in Bauru Basin, Sao Paulo State, Brazil. Applied Geochemistry, 26, 1353-1363.
- Elhatip, H. and Gunay, G., 1998. Karst hydrogeology of the Kas-Kalkan springs along the Mediterranean coast of Turkey. Environmental Geology, 36, 1-12.