

ارزیابی کیفی چشمه‌های حوزه غرب رشت از منظر ژئوشیمیایی و میکروبی

مریم مظفری^۱، سعید تکی^{۲*} و فریماه آیتی^۳

چکیده

کیفیت آب زیرزمینی یکی از جنبه‌های مهم هیدروژئوشیمیایی است. با بررسی کیفی آن‌ها می‌توان از آلودگی این منابع جلوگیری کرد. هدف از این مطالعه، ارزیابی کیفی چشمه‌های بخش غربی رشت است. به‌منظور ارزیابی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی (pH، TDS، TH، BOD، EC، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و برخی از عناصر سنگین از قبیل As، Pb، Fe، Hg، Al، Cu) و تعیین آلودگی میکروبی از چندین چشمه در غرب رشت نمونه‌برداری شد. داده‌های موجود با استفاده از نرم‌افزارهای اکسل و Aq-Qa مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. موقعیت داده‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های غرب رشت بر روی نمودار پایپر حکایت از ایجاد سه تیپ هیدروژئوشیمیایی مختلف شامل (Ca-Cl)، (Ca-HCO₃) و تیپ (Ca-SO₄) داشت. با توجه به تیپ غالب آب‌های منطقه (بی‌کربنات کلسیم) و اینکه عنصر غالب در همه چشمه‌ها کلسیم است، این آب‌ها دارای سختی دائم بوده و غلظت کاتیون‌های قلیایی خاکی (Ca²⁺) و آنیون‌های اسید ضعیف (HCO₃⁻) در آن‌ها بیشتر از آنیون‌های اسید قوی (SO₄²⁻) است. براساس طبقه‌بندی شولر، وضعیت آب همه چشمه‌ها از لحاظ آشامیدن برای همه موارد به‌جز کلسیم در ردیف خوب تا قابل قبول قرار می‌گیرد. براساس نمودار گیبس، نمونه آب چشمه‌های مورد مطالعه عمدتاً در ناحیه‌ای که فرایند سنگی غالب است، قرار می‌گیرند که این امر نشان‌دهنده تأثیر متقابل بین شیمی سنگ و شیمی آب‌های حاصل از بارش است که به زیرزمین نفوذ کرده‌اند. طبق بررسی‌ها، همه چشمه‌ها دارای MI کمتر از یک (بین ۰/۰۲ تا ۰/۱۲) و قابل آشامیدن بوده و براساس شاخص آلودگی فلزات سنگین، هیچ‌کدام از چشمه‌های مورد مطالعه آلوده به فلزات سنگین نبودند (HPI بین ۰/۰۲۶ تا ۷/۹۹). همه چشمه‌ها دارای باکتری‌های منشأ گرفته از فاضلاب بوده‌اند (توتال کلیفرم بین ۲۸ تا ۲۴۰ و فکال کلی فورم بین ۰ تا ۷۵ عدد در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب) و در رده آب‌های غیرضرای بخش قرار می‌گیرند؛ اما براساس استانداردهای ایران، همه چشمه‌ها در محدوده مجاز قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: شاخص آلودگی، فرایند سنگی، فلزات سنگین، منابع آب.

ارجاع: مظفری م.، تکی س. و آیتی ف. ۱۴۰۱. ارزیابی کیفی چشمه‌های حوزه غرب رشت از منظر ژئوشیمیایی و میکروبی. مجله پژوهش آب ایران. ۴۴: ۸۹-۱۰۲. DOI: <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2022.10066.2355>

۱- کارشناس ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، ایران.

* نویسنده مسئول: Taki_saeed2002@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶

مقدمه

یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی، کیفیت آب است. کیفیت آب زیرزمینی یکی از جنبه‌های مهم هیدروژئوشیمیایی است که درباره توصیف شیمیایی آب، توزیع مکانی انواع تشکیل‌دهنده‌های شیمیایی، قابلیت آب برای اهداف مختلف مانند شرب، کشاورزی و صنعت بحث می‌کند، زیرا هرکدام از نظر کیفی باید دارای ویژگی‌های کیفی و معیاری مشخص باشند؛ بنابراین با بررسی کیفی آن‌ها می‌توان از آلودگی این منابع جلوگیری کرد (آلی، ۱۹۹۳). ترکیب آب‌های زیرزمینی و سطحی به عوامل طبیعی، از جمله زمین‌شناسی، توپوگرافی، هواشناسی، هیدروژئولوژی، زیست‌شناسی، میزان بارش و تعادل میان نمک‌های حاصل از تبخیر و بارش در حوزه آبریز و تغییرات فصلی در حجم رواناب، شرایط و نوع هوازدگی و سطح آن‌ها وابسته است (گیبس، ۱۹۷۰؛ ایلرز و همکاران، ۱۹۹۲؛ بارترام و بالانس، ۱۹۹۶؛ فرناندز و همکاران، ۲۰۰۹). کیفیت آب زیرزمینی وابسته به فاکتورهای مختلفی مانند لیتولوژی، اثر متقابل آب-سنگ، زمان ماندگاری، عمق آب زیرزمینی، فعالیت‌های انسان‌زاد و تغییرات اقلیم است (خان و همکاران، ۲۰۱۸). تغییرات کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده در آبیاری و آشامیدن موجب بروز بیماری در انسان می‌شود؛ بنابراین به‌منظور حفظ و نگهداری کیفیت منابع آب زیرزمینی در جهت نیل به هدف کاستن تأثیرات منفی مؤثر بر کیفیت آب، ضروری است (واگ و همکاران، ۲۰۱۹). از مهم‌ترین مؤلفه‌های مرحله شناسایی مدیریت کیفیت آب، شناسایی دقیق کمیت و کیفیت منابع آلاینده، تعیین وضعیت کیفی و ارائه مدل مناسب در جهت بررسی مکانی و زمانی آلاینده‌ها است (فلاح و همکاران، ۱۳۹۳). یک‌سوم جمعیت جهان از آب‌های زیرزمینی برای شرب استفاده می‌کنند؛ از این‌رو بررسی و پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌تواند نقش مهمی در دستیابی به توسعه پایدار ایفا کند (مسافری و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه لزوم مطالعات کیفی منابع آب با توجه به ورود آلاینده‌های متنوع و گسترده، امری اجتناب‌ناپذیر و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی بشر، طی سالیان اخیر در نقاط دنیا بوده‌است (شرما و آل بوسعیدی، ۲۰۰۱). در زمینه مطالعات و ارزیابی هیدروژئوشیمیایی و آلودگی منابع آب، تاکنون تحقیقات زیادی در ایران و جهان صورت گرفته که هریک

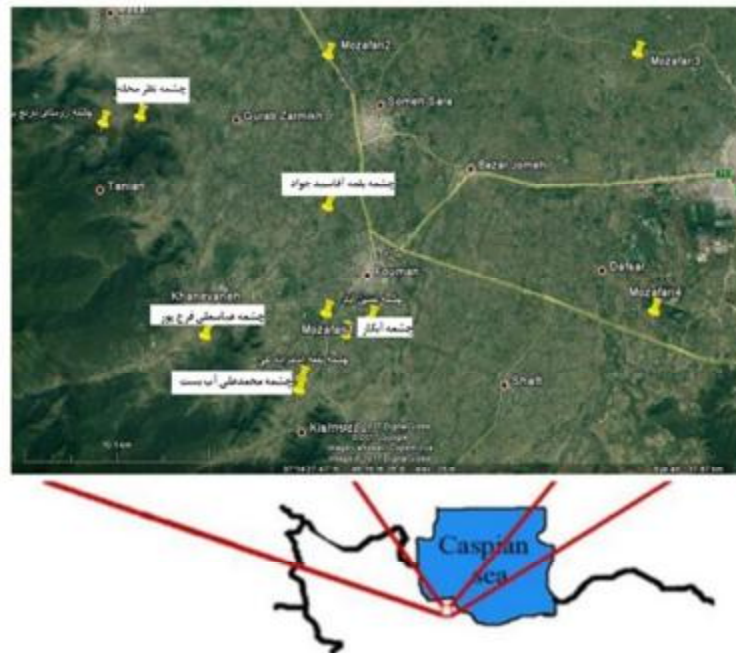
به فراخور نوع نیاز آبی، پارامترهای کیفی مختلفی را مورد بررسی قرار داده‌اند، در مورد ارزیابی کیفی چشمه‌های اطراف رشت تاکنون مطالعه‌ای (با اهداف مشابه) صورت نگرفته است، با این‌حال در زمینه کیفیت منابع آب در مناطق مختلف حوالی مناطق مورد مطالعه پژوهش‌های متعددی انجام شده‌است؛ از جمله تاکی و همکاران (۱۳۹۷) که ویژگی‌های آب زمین شیمی چشمه‌های حوالی رامسر با نگرش ویژه بر کیفیت آن‌ها از لحاظ شرب مورد بررسی قرار دادند و بیان می‌کنند که غالب چشمه‌ها در رده Si-Cl و بعضی نیز در رده Si-HCO₃ قرار می‌گیرند و هرچند که در جهت شرب بعضی از چشمه‌ها از لحاظ منیزیم، کلسیم و pH در بازه مطلوب قرار نمی‌گیرند، اما تمامی چشمه‌های منطقه مورد مطالعه از لحاظ بقیه پارامترها در گروه خوب یا قابل‌قبول قرار دارند. قربانی (۱۳۹۵) ارزیابی کیفی چشمه‌های جنوب شرق توتکابن (استان گیلان) و بررسی اثرات واحدهای زمین‌شناسی بر آن‌ها را مطالعه کرده و حکایت از آن دارد که آب این چشمه‌ها از لحاظ پارامترهای شیمیایی اکثراً در حد مطلوب بوده و نسبت به عناصر سنگین فاقد آلودگی هستند. جعفری (۱۳۹۵) ارزیابی کیفی چشمه‌های سطح شهرستان رشت با نگرش ویژه بر مطالعات میکروبی و بررسی امکان‌سنجی تأثیر واحدهای زمین‌شناسی بر آن‌ها را تحقیق کرده و بیان می‌کند که آب چشمه‌های سطح شهر رشت غالباً در رده آب‌های سدیم کلراید بوده و فاقد آلودگی به فلزات سنگین و آلودگی میکروبی کلی‌فرم هستند. چشمه‌های مورد مطالعه مابین طول‌های جغرافیایی ۴۹° ۱۷' تا ۴۹° ۳۰' شرقی و عرض‌های ۳۷° ۱۲' تا ۳۷° ۲۰' شمالی، در ورقه صد هزارم زمین‌شناسی بندر انزلی و در غرب شهرستان رشت قرار گرفته‌اند (شکل ۱). هدف از این پژوهش، بررسی خصوصیات و عوامل مؤثر بر کیفیت آب چشمه‌های غرب شهر رشت است. در این راستا طبقه‌بندی چشمه‌های مورد بررسی براساس آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، تعیین کیفیت آب‌های موجود در منطقه از لحاظ متغیرهای فیزیکوشیمیایی کل مواد جامد محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، سختی کل آب (TH)، pH، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و بعضی از عناصر کمیاب انجام می‌شود. از طرفی بررسی احتمالی تأثیرات واحدهای زمین‌شناسی منطقه بر کیفیت آب چشمه‌های منطقه مورد مطالعه، بررسی کیفیت خواص

(نبوی، ۱۳۵۵) که خود بخشی از زون البرز است، واقع شده. چشمه‌های مورد مطالعه در غرب شهرستان رشت و صومعه‌سرا واقع شده‌اند (شکل ۱). در جهت ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و تعیین غلظت فلزات سنگین و آلودگی میکروبی این چشمه‌ها، نمونه‌برداری از ۵ چشمه در حوضه غرب شهرستان رشت به شرح جدول ۱ انجام شد.

فیزیکوشیمیایی آب چشمه‌ها از لحاظ قابلیت شرب، بررسی میزان آلودگی آب‌های چشمه‌های منطقه مورد مطالعه با تکیه بر شاخص‌های میکروبی کلیفرم مدفوعی و توتال کلیفرم نیز انجام می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات واحدهای زمین‌شناسی و ساختمانی ایران، در زون گرگان-رشت



شکل ۱- موقعیت چشمه‌های مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای

جدول ۱- مشخصات چشمه‌های مورد مطالعه در حوضه غرب شهرستان رشت

نام چشمه	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)	مکان	زمین‌شناسی
عباسعلی فرج‌پور (M1)	۴۹°۱۲'۱۶/۲"	۳۷°۱۱'۲۲/۶۸"	در فاصله ۱۹ کیلومتری سمت غرب فومن	در محدوده آبرفت‌های غیرقابل حل و تراس‌های سطح بالای دشت سیلابی متعلق به کواترنر قرار گرفته است.
آبکار (M2)	۴۹°۱۷'۴۵/۱۷"	۳۷°۱۱'۲۳/۸۴"	در روستای کمسر فومن و در ۷ کیلومتری سمت جنوب شهر فومن	در محدوده نهشته‌های رودخانه‌ای-سیلابی متعلق به کواترنر قرار گرفته است.
محمدعلی آب‌بست (M3)	۴۹°۱۵'۵۷/۹۳"	۳۷°۰۹'۴۸/۳۲"	در روستای گشت و در فاصله ۱۴ کیلومتری سمت جنوب شهر فومن	در محدوده آبرفت‌های غیرقابل حل و تراس‌های سطح بالای دشت سیلابی متعلق به کواترنر قرار گرفته است.
بقعه آقا سید جواد (M4)	۴۹°۱۷'۰۱/۳۴"	۳۷°۱۵'۱۰/۵۳"	در فاصله ۹ کیلومتری سمت شمال شهر فومن	در محدوده نهشته‌های دریایی جوان متعلق به کواترنر قرار گرفته است.
نظرمحله (M5)	۴۹°۰۹'۱۵/۱۷"	۳۷°۱۸'۰۱/۴۲"	در ۲۵ کیلومتری سمت غرب شهر صومعه‌سرا	چشمه دائمی/ در محدوده نهشته‌های شن و گراول رودخانه‌ای جدید متعلق به کواترنر قرار گرفته است.

در داخل یکی از ظروف به‌منظور اندازه‌گیری فلزات سنگین و دیگر کاتیون‌ها چند قطره اسیدنیتریک خالص اضافه شد تا pH آب به حدود ۲ برسد و از انجام واکنش‌های شیمیایی میان عناصر جلوگیری کرده و مانع

تعیین پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و تحلیل آن‌ها؛ به‌منظور تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی از هر چشمه از دو ظرف پلی‌اتیلن ۱/۵ لیتری استریل استفاده شد. نمونه‌برداری از چشمه‌ها در تابستان سال ۱۳۹۷ انجام شد.

با روش گراویمتری، تیترومتری و توربیدیمتری که براساس تشکیل رسوب سولفات باریم است، قابل اندازه‌گیری می‌باشد. برای اندازه‌گیری نیتрат، روش‌های متعددی وجود دارد که رایج‌ترین آن‌ها، روش اولتراویوله است. این روش برای آب‌های غیرآلوده و با مواد آلی کم، مناسب است. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Aq.QA مطابق با استاندارد سازمان بهداشت جهان (۲۰۱۱) استفاده شد و نوع آب و کیفیت آن و نیز تأثیر سازندهای زمین‌شناسی منطقه بر کیفیت آب، توسط دیگرام‌های شیمیایی آب شامل نمودار پایپر، استیف و شولر مورد ارزیابی و تفسیر قرار گرفت. درجهت تعیین کیفیت آب چشمه‌های منطقه مورد مطالعه، برای آشامیدن، پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های آب با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و استاندارد ارائه آب آشامیدنی ایران مقایسه و نتایج در جداول مربوط ارائه شدند. کیفیت آب آشامیدنی با کاربرد معیار شولر (۱۹۹۵)، شاخص فلزی (MI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) نیز مورد بررسی گرفت. نمونه‌ها درجهت اندازه‌گیری قلیات آنیون‌های اصلی و اندازه‌گیری کاتیون‌ها به شرکت زیست دانش آزما (رشت) ارسال شدند. نتایج این آنالیزها در جدول ۲ و ۳ آمده‌است.

نتایج و بحث

بررسی پارامترهای فیزیکی و تحلیل نمودارهای مختلف شیمی آب: مقایسه داده‌های حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی (جدول ۲) در پنج چشمه مورد بررسی از لحاظ pH، EC، TDS و BOD نشانی داد که: بیشترین مقدار EC در چشمه بقعه آقا سید جواد (نمونه M4) برابر با (۸۰۴/۰ mS) و کمترین مقدار در چشمه محمدعلی آب‌بست (نمونه M3) برابر با (۱۶۳۷/۰ mS) مشاهده شده که حد مجاز کمتر از ۱۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است که این مقدار متغیر بوده و به سایر پارامترهای آب بستگی دارد. بیشترین pH اندازه‌گیری‌شده در چشمه نظرملحه (نمونه M5) برابر با ۷/۳۴ و کمترین در چشمه عباسعلی فرج‌پور (نمونه M1) برابر با ۶/۹۹ است. حد مجاز ۵/۵-۶/۵ براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و حد مطلوب ۵/۵-۶/۵ و مقدار مجاز ۹-۶/۵ براساس استاندارد ۱۰۵۳ ایران است. بیشترین TDS اندازه‌گیری‌شده در چشمه بقعه آقا سید جواد (نمونه M4) برابر با (mg/L)

رسوب کاتیون‌ها شود. ظرف دیگر بدون اسیدی‌کردن نمونه، برای اندازه‌گیری آنیون‌ها و شاخص‌های فیزیکی آب نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها را پس از برداشت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و درجهت سنجش خصوصیات فیزیکوشیمیایی، اندازه‌گیری غلظت آنیون‌ها (SO_4^{2-} ، NO_3^- ، Cl^- ، HCO_3^-) و کاتیون‌های اصلی (Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، K^+ ، Na^+)، سختی کل، فلزات سنگین (Al، Cu، Hg، Pb، As، Fe)، کل مواد جامد محلول (TDS) (بیشتر دربرگیرنده نمک‌های غیرآلی مانند کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها، کلریدها، سولفات‌ها، فسفات‌ها و نیترات‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن و مقدار کمی از مواد آلی) (کوتایه و سوامی، ۱۹۹۴) و اکسیژن بیوشیمیایی (BOD)، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC) (اندازه‌گیری میزان یون‌های محلول در آب مانند کاتیون‌های کلرید، سولفات، سدیم، منیزیم، کلسیم، آهن (رائو و رائو، ۲۰۱۰) و مطالعات میکروبی به آزمایشگاه پارک علم و فناوری رشت (شرکت زیست دانش آزما) ارسال شد. به‌منظور انجام مطالعات میکروبی از هر چشمه به میزان ۲۰ میلی‌لیتر نمونه درجهت آزمایشات میکروبیولوژی، شمارش توتال کلیرم و فکال کلیرم جمع‌آوری شد. برای هر چشمه، از یک ظرف شیشه‌ای قهوه‌ای استریل استفاده شد. این ظروف بلافاصله پس از نمونه‌برداری درون یک کلمن حاوی یخ قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شد. در این آزمایشگاه نمونه‌ها پس از انجام پروسه‌های مربوط به کشت و آماده‌سازی مورد مطالعه میکروبی قرار گرفتند. کلیرم گروهی از باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی اختیاری، گرم منفی، بدون اسپور (هاگ) و تخمیرکننده لاکتوز هستند. این باکتری‌ها ساکن روده بزرگ انسان و حیوانات هستند. باکتری‌های نشانگر و شاخص آلودگی آب آشامیدنی، باکتری‌هایی هستند که وجود آن‌ها در آب نشان‌دهنده ناکافی بودن فرایند تصفیه و همچنین آلودگی آب با مدفوع انسان و حیوانات خونگرم است؛ مانند کلیرم‌های گرم‌پای، آنتروکوک‌های مدفوع، کلوستریدیوم‌های احیاکننده سولفیت و باکتریوفاژها. اندازه‌گیری غلظت کاتیون‌ها و عناصر سنگین با استفاده از روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی (AAS) به روش کوره گرافیتی انجام شده‌است. ارزیابی غلظت آنیون‌ها با روش تیتراسیون و پتانسیومتری صورت گرفت؛ به‌گونه‌ای که برای کلرید از معرف کرومات پتاسیم استفاده شد. سولفات

سامانه جریان آب زیرزمینی (دسته‌بندی نمونه‌ها و تعیین تیپ شیمیایی و رخساره آب) به‌طور گسترده از نمودار پایپر (۱۹۴۴) استفاده می‌شود. در این طبقه‌بندی، آب‌ها براساس کاتیون‌ها به سه رخساره منیزیک، کلسیک و سدیک-پتاسیک و نیز بر پایه آنیون‌ها به سه تیپ سولفات، کلرید و کربنات-بی‌کربنات تقسیم‌بندی می‌شوند.

جدول ۲- نتایج آنالیز آنیون‌ها و پارامترهای فیزیکی توسط شرکت زیست دانش آزما

پارامتر	نمونه				
	M1	M2	M3	M4	M5
قلیائیت	۶۴	۷۲	۶۰	۱۴۰	۲۰۰
سولفات	۴۶/۸	۴۹/۸	۹۵/۱	۹۹/۴	۸۷/۵
کلرید	۴۵/۵	۳۰/۳	۶۰/۶	۶۱/۲	۷۵/۸
نیترات	۱/۵۸	۹/۲	۳/۴۱	۴/۱۹	۱/۹۴
هدایت الکتریکی	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۸	۰/۵
PH	۶/۹۹	۷/۲۳	۷/۰۳	۷/۲۱	۷/۳۴
BOD	۵/۴	۴/۳	۴/۲	۳/۷	۵/۷

جدول ۳- نتایج آنالیز کاتیون‌ها

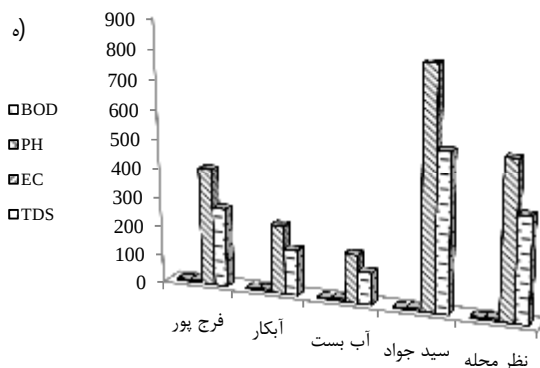
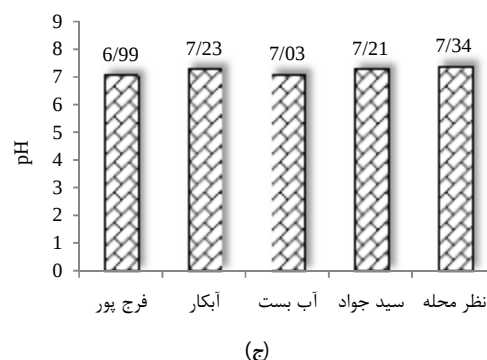
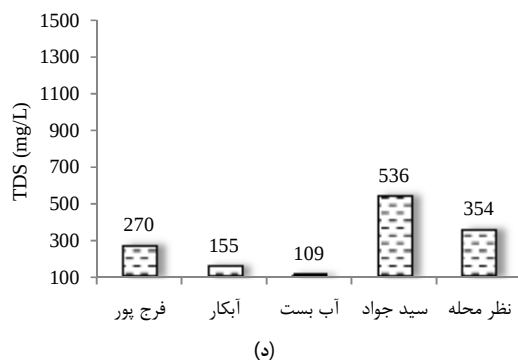
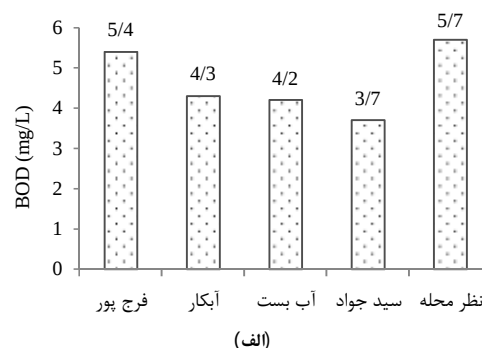
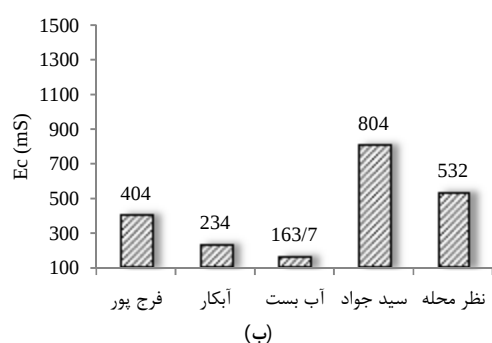
پارامتر	منبع				
	M1	M2	M3	M4	M5
Al	۳/۶	۱/۷	۱۲	۱۳	۰/۱
Pb	۳۰۰	۱۰	۴۵	۲۷	۶۳
Hg	۰	۰	۰	۰	۰
Cu	۰/۴	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
As	۰	۰	۰	۰	۰
Fe	۱۰	۳۴	۱۰	۳۷	۰/۷
Mg	۱۰/۰۷	۸/۴۴	۷/۴	۹/۸۷	۱۰/۱۲
Na	۱۹/۲	۱۰/۰۵	۴/۱۷	۴۵/۲	۲۰/۴
K	۲/۱۷	۱/۷۶	۱/۶۹	۳/۲۰	۱/۲۱
Ca	۳۲/۳۱	۱۷/۲۹	۲۵/۷۷	۸۸/۴۷	۷۵/۶۹

در این نمودار به‌سرعت می‌توان نوع آب را تشخیص داد. موقعیت داده‌های هیدروژن‌شیمیایی چشمه‌های منطقه غرب رشت بر روی نمودار پایپر (شکل ۵) حکایت از ایجاد سه تیپ هیدروژن‌شیمیایی مختلف شامل (Ca-Cl) در چشمه عباسعلی فرج‌پور و تیپ (Ca- HCO₃) در چشمه‌های آبکار، بقعه آقا سید جواد، چشمه نظر محله و تیپ (Ca- SO₄) در چشمه محمدعلی آب‌بست را دارد. با توجه به تیپ غالب آب‌های منطقه که دارای بی‌کربنات کلسیم است و عنصر غالب در تمام چشمه‌ها کلسیم است. این آب‌ها دارای سختی دائم هستند و غلظت کاتیون‌های قلیایی خاکی (Ca²⁺) و آنیون‌های اسید ضعیف (HCO₃⁻)

۵۳۶ و کمترین مقدار آن در چشمه محمدعلی آب‌بست (نمونه M3) برابر با (mg/L) ۱۰۹ است. حد مجاز TDS براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی برابر با (mg/L) ۶۰۰ و براساس استاندارد ۱۰۵۳ ایران برابر با حداکثر مطلوب (mg/L) ۱۰۰۰ و حداکثر مجاز (mg/L) ۱۵۰۰ است. بیشترین BOD اندازه‌گیری‌شده در چشمه نظر محله (نمونه M5) برابر با (mg/L) ۵/۷ و کمترین آن در چشمه بقعه آقا سید جواد (نمونه M4) برابر با (mg/L) ۳/۷ است. اگر BOD برابر با ۱ppm باشد، آب خالص و اگر تا ۵ ppm باشد، آب تقریباً خالص و اگر بیش از ۵ppm باشد، خلوص آب مورد تردید قرار می‌گیرد و اگر از ۲۰ppm تجاوز کند، سلامت عمومی در خطر می‌افتد (شکل ۲). در نمودار شکل ۲، خط قرمز پایین (مرز پایین) مبین حداکثر مطلوب و مرز بالایی مبین حداکثر مجاز است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری آنیون‌ها (جدول ۲) در پنج چشمه مورد بررسی در شکل ۳ نشان داده شده‌است. در این نمودار نیز خط قرمز پایین مبین حداکثر مطلوب و مرز بالایی مبین حداکثر مجاز است. نتایج مقایسه داده‌های حاصل از اندازه‌گیری کاتیون‌ها (جدول ۳) در پنج چشمه مورد بررسی از لحاظ عناصری همچون سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم در شکل ۴ نشان داده شده‌است. در این شکل، خط قرمز پایین مبین حداکثر مطلوب و مرز بالایی مبین حداکثر مجاز است. بعد از ارزیابی مقادیر یون‌ها و ترکیبات شیمیایی موجود در آب، نیاز است این مقادیر را پایش و دسته‌بندی کنیم. یکی از راه‌های نمایش تجزیه شیمیایی آب چشمه‌ها، تحلیل نمودارهای مختلف شیمی آب است (لشگری‌پور و همکاران، ۱۳۸۱). روش‌های مختلفی برای این منظور وجود دارد؛ از قبیل استفاده از شاخص‌ها، نقشه‌های پهنه‌بندی و نمودارهای کیفی استیف و پایپر که توسط نرم‌افزار Aq-Qa ترسیم می‌شود. این تجزیه و تحلیل‌ها از نظر حل بسیاری از مسائل علمی از قبیل مناسب‌بودن آب برای یک منظور خاص، مطالعه اختلاط آب‌هایی از منابع مختلف، وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی در یک منطقه، تأثیر سازندهای مختلف بر روی کیفیت آب‌ها، بررسی منشأ شوری، تغییرات کیفیت آب در مسیر حرکت آن، تغییرات کیفیت آب در طول زمان، تأثیر استخراج آب بر روی کیفیت و بسیاری مسائل دیگر مفید است. نتایج پردازش داده‌ها توسط نرم‌افزار Aq-QA در جدول ۴ نمایش داده شده‌است. برای ارزیابی ژئوشیمیایی

(شکل ۶) آب‌های زیرزمینی منطقه به‌ترتیب فراوانی در گروه‌های بی‌کربنات کلسیم یعنی (چشمه‌های M2, M5, M4) و سولفات کلسیم (چشمه M3) و کلرید کلسیم (چشمه M1) قرار می‌گیرند؛ بنابراین با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی و داده‌های حاصل از دیاگرام پایپر، استیف و جدول ۴، نتایج ذیل حاصل می‌شود: چشمه عباسعلی فرج‌پور با تیپ (Ca-Cl)، به‌دلیل مجاورت با واحد سنگی، شامل سنگ آهک آریلیتی با لایه‌بندی متوسط تا ضخیم و به رنگ خاکستری روشن تا کرم رنگ با لیتیک توف کریستالیزه قاعده‌ای به سن ژوراسیک است.

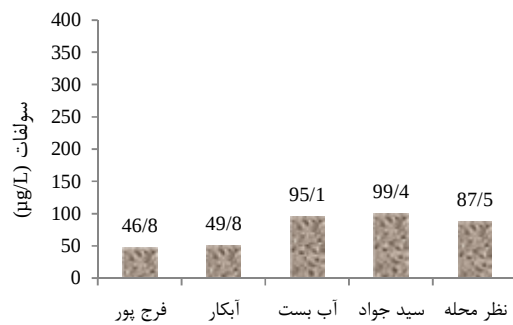
در آن‌ها بیشتر از آنیون‌های اسید قوی (SO_4) است. از نمودار استیف درجهت ارزیابی تغییرات کیفی آب در یک مکان و در یک دوره استفاده می‌شود (آرئیدسون، ۲۰۰۶). نمودار استیف تیپ آب هر منبع را به‌طور جداگانه مورد بررسی و مقایسه قرار می‌دهد؛ به‌طوری‌که سدیم درمقابل کلرید، کلسیم درمقابل بی‌کربنات، منیزیم درمقابل سولفات در نظر گرفته می‌شود. شکل حاصل از ترسیم نقاط برای هر نمونه یک چندضلعی نامنظم خواهد بود که اندازه آن تا حدودی کل محتوای یونی را مشخص می‌سازد و با توجه به آن می‌توان نوع آب را مشخص کرد (رحیم سوری و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به نمودار استیف



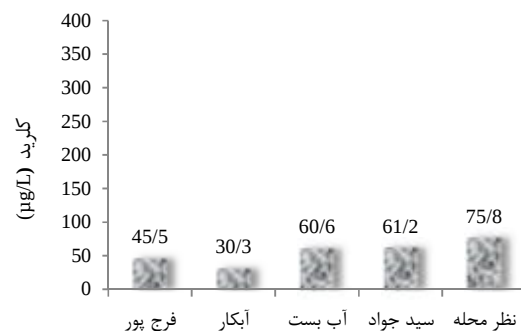
شکل ۲- مقادیر پارامترهای فیزیکی محاسبه شده (الف) BOD، (ب) EC، (ج) pH، (د) TDS، (ه) مقایسه پارامترها برای چشمه‌های مورد بررسی

جدول ۴ - نتایج پردازش داده‌ها توسط نرم‌افزار Aq-QA

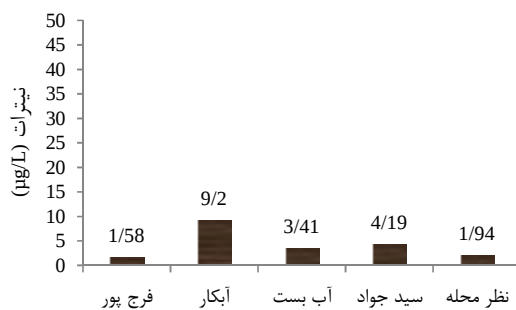
منبع					پارامتر
M1	M2	M3	M4	M5	
Ca-Cl	Ca- HCO ₃	Ca- SO ₄	Ca- HCO ₃	Ca- HCO ₃	نوع آب
۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	چگالی (g/cm ³)
۴۰۴	۲۳۴	۱۶۳/۷	۸۰۴	۵۳۲	قابلیت هدایت
۱۲۱/۸	۷۷/۷۰	۹۴/۵۴	۲۶۰/۸	۲۳۰/۰۵	سختی (CaCO ₃)
۲۶۹/۲۵	۱۵۴/۵	۱۰۸/۶	۵۳۴/۶	۳۵۳/۶۳	جامدات محلول



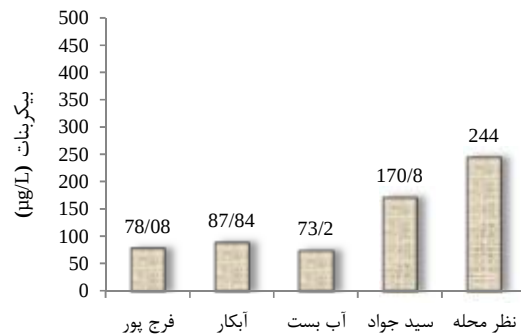
(ب)



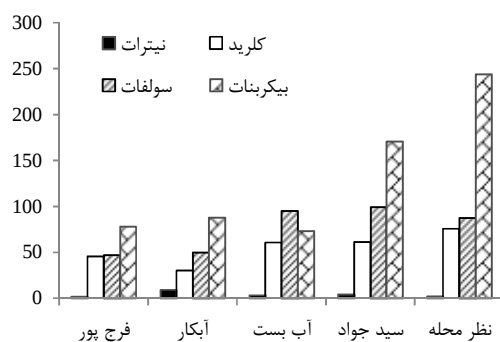
(الف)



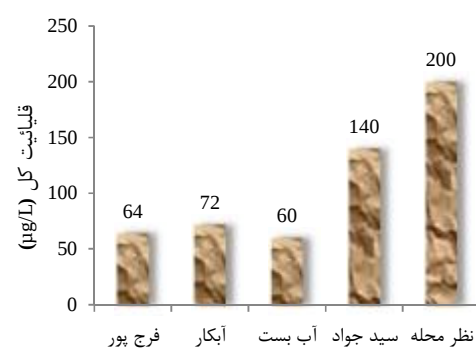
(د)



(ج)

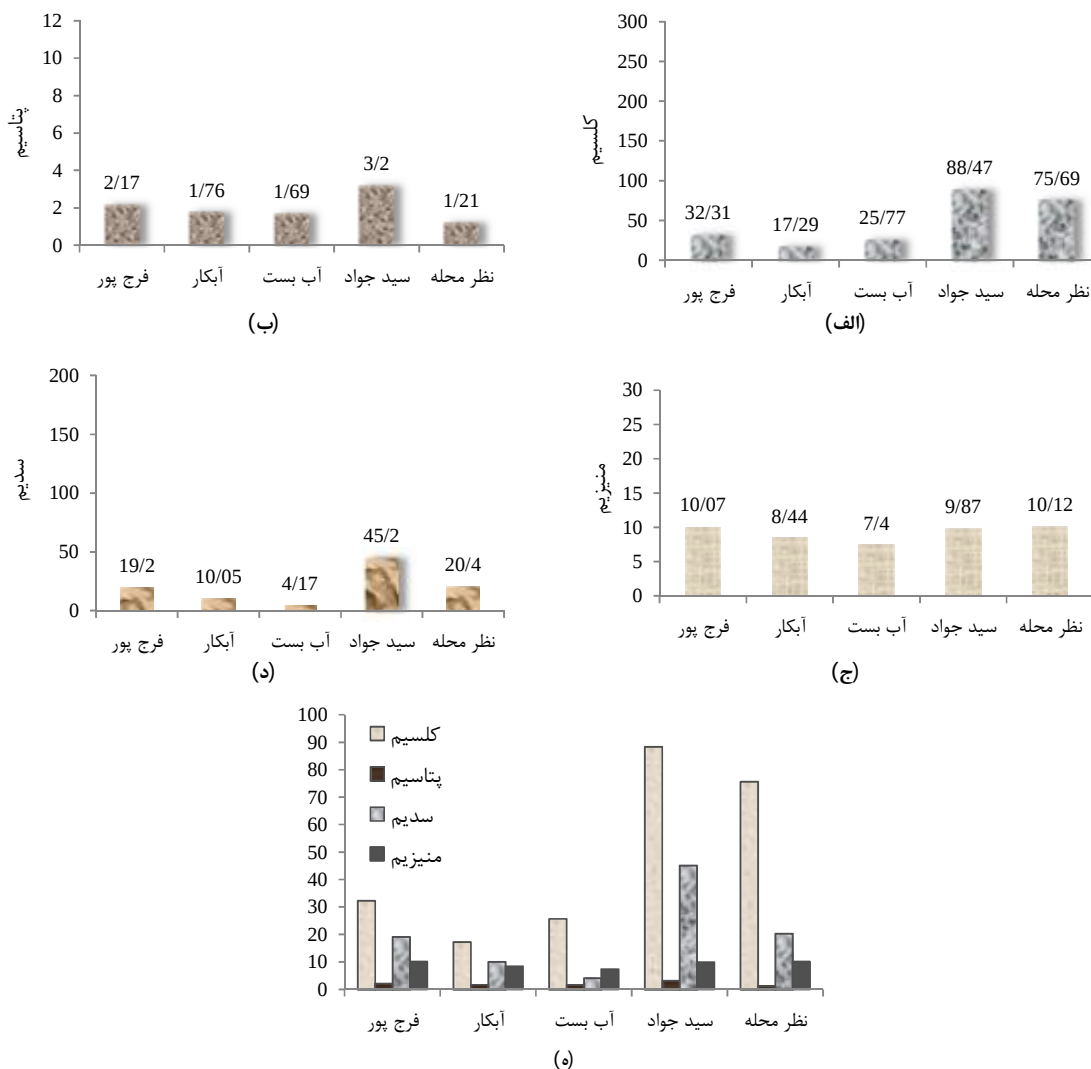


(ه)



(ذ)

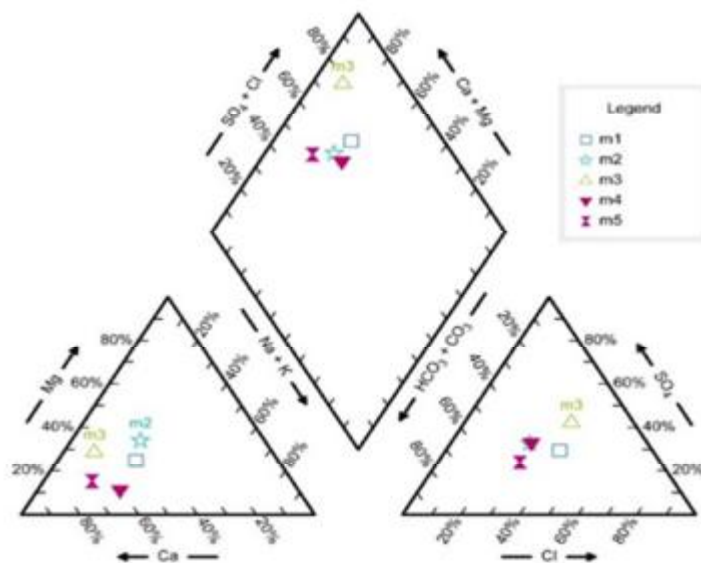
شکل ۳ - مقدار آنیون‌های محاسبه شده (الف) کلرید (ب) سولفات (ج) بی‌کربنات (د) نیترات (ذ) قلیائیت کل برای چشمه‌های مورد مطالعه و (ه) مقایسه پارامترها



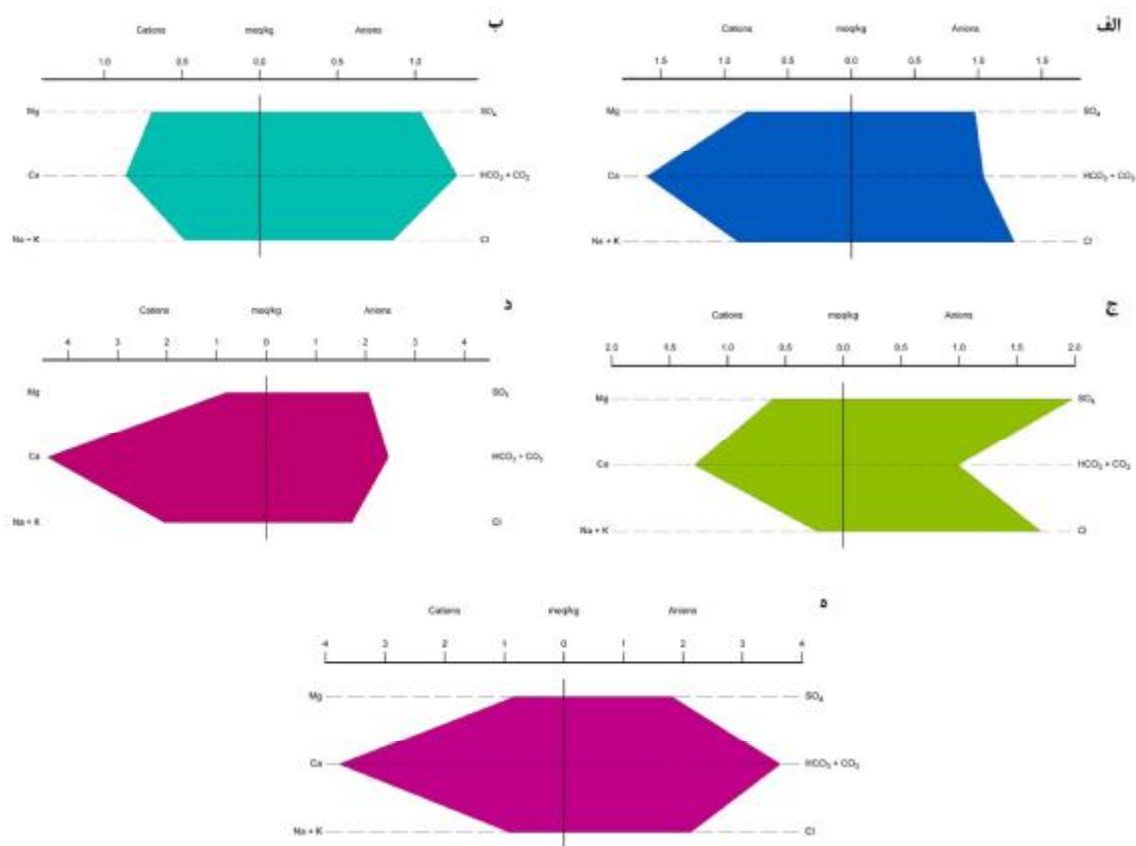
شکل ۴- مقدار کاتیون‌های محاسبه‌شده (الف) Ca (ب) K (ج) Mg (د) Na مربوط به چشمه‌های منطقه مورد مطالعه (ه) مقایسه پارامترها

HCO_3 و جنس مظهر رسوبات ساحلی جوان که به دور از هر واحد سنگی و در دشت آبرفتی واقع‌اند تحت‌تأثیر سیستم آبشستگی‌ها و شبکه آبراهه‌ها و ریزش‌های جوی هستند، چشمه محمدعلی آب‌بست در دشت سیلابی و در مسیر آبشستگی واحدهایی به سن پالئوزوئیک در ارتفاعات که شامل سنگ آهک فاقد کریستال با لایه‌بندی نازک تا ضخیم به رنگ خاکستری همراه با رگه‌های کلسیت (سازند روته) به سن پرمین و نیز تحت‌تأثیر برگه‌هایی از طبقات متوسط تا ضخیم لایه از سنگ آهک خاکستری تیره با رگچه‌های کلسیتی فراوان و به‌شدت کریستالیزه در میان نهشته‌های واحد Pz به سن سیلورین-دونین قرار گرفته است.

ترکیب آب چشمه نظر محله با تیپ $(\text{Ca}-\text{HCO}_3)$ ، به دلیل مجاورت با واحد سنگی که شامل سنگ آهک فاقد کریستال با لایه‌بندی نازک تا ضخیم به رنگ خاکستری همراه با رگه‌های کلسیت (سازند روته) به سن پرمین است، قطعات سازنده پوشش آبرفتی منطقه مورد مطالعه، بسته به دوری و نزدیکی از بلندی‌های مبدأ و جنس رخساره، مجموعه‌ای است از سازندهای سنگ‌های رسوبی-پلیتی و رسوبی کربناته و قطعاتی از سنگ‌های دگرگونی و آذرین که به ترتیب از سوی بالا رود تا بستر حوضه رسوب‌گذاری از اندازه آن‌ها کاسته شده و به نسبت کرویت و گردش‌گی آن‌ها افزوده می‌شود؛ بنابراین ترکیب چشمه‌های آبکار با تیپ $(\text{Ca}-\text{HCO}_3)$ و جنس مظهر رسوبات سیلابی رودخانه‌ای و سید جواد با ترکیب $(\text{Ca}-\text{HCO}_3)$



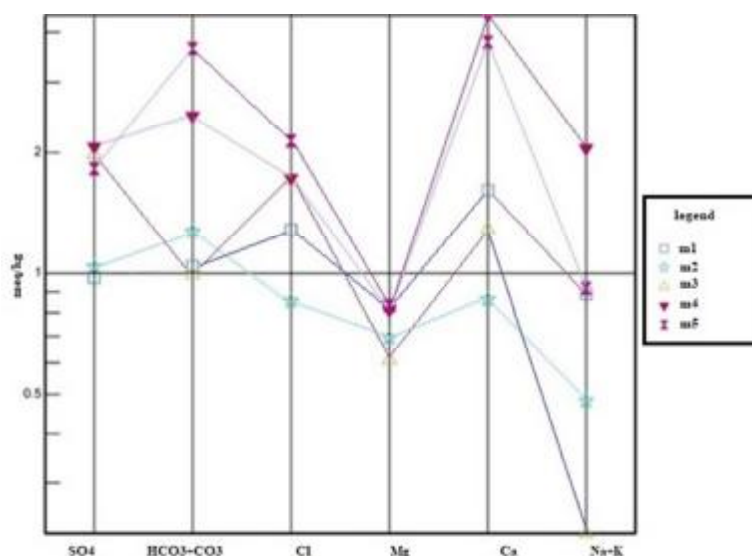
شکل ۵- داده‌های مربوط به چشمه‌های غرب شهر رشت (استان گیلان) بر روی دیاگرام پایپر



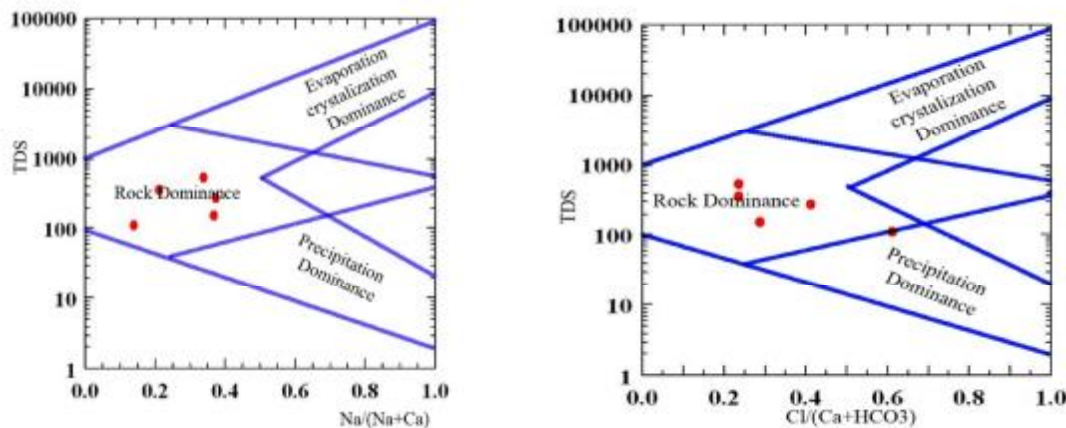
شکل ۶- داده‌های مربوط به، الف) چشمه عباسعلی فرج‌پور (نمونه M1) ب) چشمه آبکار (نمونه M2) ج) چشمه محمدعلی آب‌بست (نمونه M3) د) چشمه بقعه آقا سید جواد (نمونه M4) ه) چشمه نظر محله (نمونه M5) بر روی نمودار استیف

(سوبا راثو، ۲۰۰۲؛ گیبس، ۱۹۷۰). در این مدل در نمونه‌های دارای نسبت $(Na^+ + Ca^{2+})/Na$ بالا و TDS پایین، ریزش‌های جوی بیشترین تأثیر را روی شیمی آب‌های منطقه دارند. نسبت $(Na^+ + Ca^{2+})/Na$ پایین و TDS بین ۱۰۰-۱۰۰۰ mg/l نشانگر تأثیر فرایندهای هوازدگی سنگ‌ها و در صورت افزایش هر دوی این مقادیر به ترتیب نشانگر تأثیر تبخیر و تأثیر آب‌های شور، به‌عنوان عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب محسوب می‌شوند (صادقی اقدم، ۱۳۹۱). براساس این نمودار (شکل ۸) نمونه آب چشمه‌های منطقه غرب رشت عمدتاً در ناحیه‌ای که فرایند سنگی غالب است قرار می‌گیرند که این امر نشان‌دهنده تأثیر متقابل بین شیمی سنگ و شیمی آب‌های حاصل از بارش است که به زیرزمین نفوذ کرده‌اند. بررسی وضعیت خوردگی-رسوب‌گذاری آب: خوردگی یکی از مهم‌ترین مشکلات در صنعت آب است و می‌تواند سلامت عمومی، کیفیت و هزینه تولید آب سالم را تحت تأثیر قرار دهد (پیری علم و همکاران، ۱۳۸۷). برای بررسی آب‌ها از نظر خوردگی و رسوب‌گذاری از شاخص‌هایی مانند لانژلیه استفاده می‌شود (لانژلیه، ۱۹۴۶). این شاخص در واقع تفاوت بین pH واقعی آب و pHs اشباع‌شده توسط کربنات کلسیم است که به‌عنوان شاخصی برای بیان خوردگی و رسوب‌گذاری آب به کار می‌رود.

طبقه‌بندی شولر: یکی از معیارهای طبقه‌بندی آب از لحاظ شرب، تقسیم‌بندی شولر است. در این نمودار آب‌ها از نظر مصرف آشامیدنی، براساس عمده پارامترهای شیمیایی موجود در آب (K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^-) طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۷). در این تقسیم‌بندی، آب‌های مورد بررسی به گروه‌های خوب، قابل‌قبول، نامناسب، بد، قابل‌قبول در شرایط اضطراری و غیرقابل‌شرب تقسیم می‌شوند. در پژوهش حاضر نیز در جهت تعیین تناسب آب چشمه‌های منطقه مورد مطالعه برای آشامیدن، پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های آب با استاندارد سازمان بهداشت جهانی، استاندارد کیفیت آب آشامیدنی ایران و طبقه‌بندی شولر، مقایسه شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در چشمه‌های عباسعلی فرج‌پور و محمدعلی آب‌بست براساس طبقه‌بندی شولر، کلاس آب از لحاظ آشامیدن به‌جز مورد کلسیم، بد و در بقیه موارد در ردیف خوب تا قابل‌قبول قرار می‌گیرد. چشمه آبکار در مورد کلسیم در رده نامناسب، در بقیه موارد در رده خوب و قابل‌قبول قرار دارد و چشمه‌های بقعه آقا سید جواد و نظرمحله، به‌جز مورد کلسیم قابل‌شرب در شرایط اضطراری، بقیه موارد در رده خوب و قابل‌قبول هستند. به‌منظور بررسی تأثیر سنگ‌شناسی سنگ‌های دربرگیرنده بر کیفیت آب‌ها، تعیین سازوکار حاکم بر جریان آب زیرزمینی و ترکیب یون‌های اصلی موجود در آب زیرزمینی از نمودار گیبس استفاده شد



شکل ۷- داده‌های مربوط به چشمه‌های منطقه غرب رشت بر روی نمودار شولر



شکل ۸- داده‌های مربوط به چشمه‌های منطقه غرب رشت بر روی نمودار گیبس

فلزات سنگین برای بررسی اثر عناصر سنگین بر سلامت انسان استفاده می‌کنند. برای تعیین این دو شاخص، از داده‌های مربوط به ۶ عنصر Fe, As, Pb, Hg, Al و Cu استفاده شد.

$$MI = \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(MAC)_i} \quad (3)$$

C_i = غلظت عنصر موردنظر، i = آمین عنصر موردنظر در نمونه، i : (MAC) حداکثر غلظت مجاز عنصر موردنظر.

اگر مقادیر به‌دست‌آمده برای MI کمتر از یک باشد، آب قابل‌آشامیدن است. اگر MI بیشتر از یک باشد، آب غیرقابل‌آشامیدن و اگر برابر با یک باشد، در حد آستانه خطر قرار دارد (تاماسی و همکاران، ۲۰۰۴). مقادیر MI محاسبه شده و حد مجاز آن را در غالب یک هیستوگرام نشان می‌دهد (شکل ۹ الف). با توجه به نتایج درج‌شده در جدول ۶، تمام چشمه‌ها دارای MI کمتر از یک و قابل‌آشامیدن هستند. شاخص آلودگی فلزات سنگین با استفاده از معادله زیر و براساس استاندارد WHO, 2011 تعیین می‌شود:

$$HPI = \frac{\sum W_i q_i}{\sum W_i} \quad (4)$$

در این معادله W_i نسبت وزنی آمین عنصر است که از طریق معکوس استاندارد محاسبه می‌شود ($W_i = 1/S_i$) و q_i نرخ کیفی آمین عنصر که از معادله زیر قابل‌محاسبه است. در این معادله V_i غلظت آمین مؤلفه و S_i مقدار استاندارد آمین عنصر است.

$$q_i = \frac{V_i}{S_i} \quad (5)$$

نحوه محاسبه این شاخص به‌صورت زیر و با کمک (جدول ۵) است (گوپتا و همکاران، ۲۰۱۰):

$$LI(SI) = pH - pH_s \quad (1)$$

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$A = \frac{(\log_{10}[TDS] - 1)}{10}$$

$$B = -13.12 \times \log_{10}(C^\circ + 273) + 34.55 \quad (2)$$

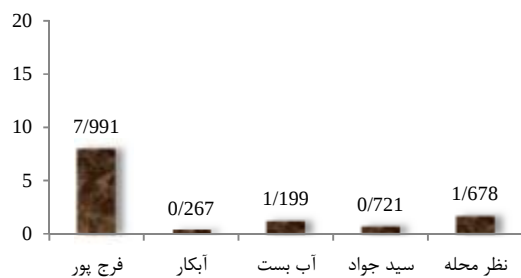
$$C = \log_{10}[Ca^{+2} \text{ as } CaCO_3] - 0.4$$

$$D = \log_{10}[\text{alkalinity as } CaCO_3]$$

مقادیر SI کمتر از صفر یعنی پتانسیل تشکیل پوسته وجود ندارد و آب $CaCO_3$ را حل می‌کند؛ درنتیجه نشان‌دهنده آب خورنده است؛ SI برابر با صفر حالت تعادل نشان‌دهنده عدم تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی است. SI بیشتر از صفر تمایل به تشکیل پوسته (رسوب $CaCO_3$) درنتیجه آب رسوب‌گذار است. محاسبه مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص لائزلیه نشان داد که نمونه M5، رسوب‌گذار و نمونه M1، M2، M3، M4، خورنده هستند. مقادیر محاسبه‌شده در جدول ۵ آورده شده‌است.

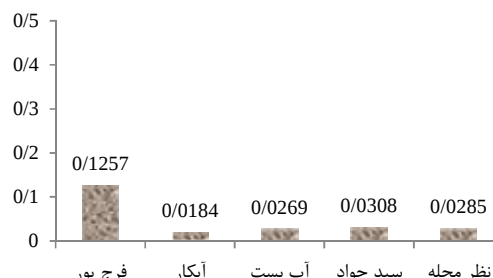
تعیین شاخص‌های آلودگی منابع آب (MI و HPI): اکوسیستم‌های آبی به‌طور طبیعی دریافت‌کننده نهایی فلزات سنگین هستند (پنگ و همکاران، ۲۰۰۹). برخی از فلزات سنگین برای انسان سرطان‌زا هستند. در فصل بارش در اثر ورود رواناب کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی غلظت این عناصر در آب می‌تواند به حد بالایی برسد (گائور و همکاران، ۲۰۰۵). برای تعیین میزان آلودگی منابع آب از نظر وجود فلزات سنگین، از شاخص فلزی درجهت ارزیابی قابلیت شرب و از شاخص آلودگی

نتایج مطالعات میکروبی: براساس بررسی‌های صورت گرفته (جدول ۷)، همه چشمه‌های آب از نظر وجود فکال کلی فرم و توتال کلی فرم مثبت بودند و بدین ترتیب مشخص شد که به جز چشمه محمدعلی آب بست که به دلیل فکال کلی فرم صفر، فاقد کلی فرم‌ها با منشأ مدفوعی است، چهار چشمه دیگر، آلودگی مدفوعی داشته‌اند و همه چشمه‌ها دارای باکتری‌های منشأ گرفته از فاضلاب بوده‌اند و در رده آب‌های غیررضایت بخش قرار می‌گیرند.



(ب)

اگر HPI بیشتر از ۱۰۰ باشد، آب به فلزات سنگین آلوده است؛ در صورتی که اگر $HPI=100$ باشد، آب در آستانه خطر آلودگی به فلزات سنگین است و اگر HPI کمتر از ۱۰۰ باشد، آب به فلزات سنگین آلوده نیست. با محاسبه شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) (جدول ۶) و نمایش نتایج در غالب یک هیستوگرام (شکل ۹ ب) هیچ کدام از چشمه‌های مورد مطالعه به فلزات سنگین آلوده نیستند.



(الف)

شکل ۹- الف) مقدار شاخص فلزی (MI) محاسبه شده برای نمونه‌های چشمه‌های منطقه مورد مطالعه، ب) مقدار شاخص فلزی (HPI) محاسبه شده برای نمونه‌های چشمه‌های منطقه مورد مطالعه

جدول ۷- تعداد کل باکتری‌های شمارش شده در هر یک از آب‌های چشمه عباسعلی فرج پور (نمونه M_1)، چشمه آبکار (نمونه M_2)، چشمه محمدعلی آب بست (نمونه M_3)، چشمه بقعه آقا سید جواد (نمونه M_4)، چشمه نظر محله (نمونه M_5)

نام آنالیز	M1	M2	M3	M4	M5
توتال کلیفرم	۷۵	۱۵۰	۲۸	۲۴۰	۹۳
فوکال کلیفرم	۴	۲۱	۰	۷۵	۲۸

نتیجه‌گیری

موقعیت داده‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های منطقه غرب رشت بر روی نمودار پایپر حکایت از ایجاد سه تیپ هیدروژئوشیمیایی مختلف شامل (Ca-Cl)، (Ca- HCO_3) و (Ca- SO_4) در چشمه‌های مورد مطالعه دارد. با توجه به تیپ غالب آب‌های منطقه که دارای بی‌کربنات کلسیم است و عنصر غالب در تمام چشمه‌ها کلسیم است، این آب‌ها دارای سختی دائم هستند و در آن‌ها غلظت کاتیون‌های کلیایی خاکی (Ca^{2+}) و آنیون‌های اسید ضعیف (HCO_3^-) بیشتر از آنیون‌های اسید قوی (SO_4^{2-}) است. طبق نمودار استیف آب‌های زیرزمینی منطقه به ترتیب فراوانی در گروه‌های بی‌کربنات کلسیم (چشمه‌های M_2 ، M_5 ، M_4) و سولفات کلسیم (چشمه M_3) و کلرید کلسیم

جدول ۵- محاسبه میزان خوردگی یا رسوب‌گذاری چشمه‌های منطقه غرب رشت با استفاده از شاخص لانتزلیه

نمونه‌گذاری	شماره نمونه	CaO	لیت (SI)	میزان رسوب/خوردگی
عباسعلی فرج پور	M_1	۶۴	-۰/۹۱	خورنده
آبکار	M_2	۷۲	-۰/۷۷	خورنده
محمدعلی آب بست	M_3	۶۰	-۰/۹۷	خورنده
بقعه آقا سید جواد	M_4	۱۴۰	-۰/۰۹	خورنده
نظر محله	M_5	۲۰۰	۰/۱۴	رسوب‌گذار

جدول ۶- شاخص MI و HPI در آب چشمه‌های منطقه غرب رشت

پارامتر	منبع				
	M1	M2	M3	M4	M5
MI	۰/۱۲۵۷	۰/۰۱۸۴	۰/۰۲۶۹	۰/۰۳۰۸	۰/۰۲۸
HPI	۷/۹۹۱	۰/۲۶۷	۱/۱۹۹	۰/۷۲۱	۱/۶۷۸

۲. تاکی س. و شیرود عیسی ن. ۱۳۹۷. ویژگی‌های آب زمین شیمی چشمه‌های حوالی رامسر با نگرش ویژه بر کیفیت آن‌ها از لحاظ شرب. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۸(۴): ۳۷-۴۷.

۳. جعفری ص. ۱۳۹۵. ارزیابی کیفی چشمه‌های سطح شهر رشت با نگرش ویژه بر مطالعات میکروبی و بررسی امکان‌سنجی تأثیر واحدهای زمین‌شناسی بر آن‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ۸۸ ص.

۴. رحیم سوری ی. یعقوب‌پور ع. و مدبری س. ۱۳۹۰. هیدروژئوشیمی و بررسی کیفیت آب چشمه‌ها و آب‌های آشامیدنی روستاهای واقع در حوضه آبریز رودخانه آغدره شمال باختر تکاب، استان آذربایجان غربی. مجله علوم زمین، ۲۱(۸۲): ۷۷-۸۲.

۵. صادقی اقدم ف. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت منابع آب ورودی به سد سهند هشتروند با تأکید بر آنومالی آرسنیک در منطقه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز، ۱۶۱ ص.

۶. فلاح م. فاخران اصفهانی س. پیرعلی زفرهای ا. و فرهادیان ا. ۱۳۹۳. بررسی کیفیت آب تالاب بین‌المللی انزلی با استفاده از شاخص NSFQI. دومین همایش ملی و تخصصی پژوهش‌های محیط‌زیست ایران، انجمن ارزیابان محیط‌زیست هگمتانه، همدان، ۱-۱۸.

۷. قربانی خ. ۱۳۹۵. ارزیابی کیفی چشمه‌های جنوب‌شرق توتکابن (استان گیلان) و بررسی اثرات واحدهای زمین‌شناسی بر آنها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ۹۶ ص.

۸. لشگری‌پور غ. و غفوری م. ۱۳۸۱. بررسی وضعیت نیتрат در آب‌های زیرزمینی مشهد، مجله آب و فاضلاب، ۴۱(۱): ۲-۷.

۹. نبوی م. ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.

10. Alley W. M. 1993. Regional ground-water quality. New York, Van Nostrand Reinhold. 634 p.

(چشمه M1) قرار می‌گیرند. با توجه به نمودار شولر، تمامی چشمه‌های مورد مطالعه از لحاظ آشامیدن (به جز مورد کلسیم) در ردیف خوب تا قابل قبول قرار می‌گیرند. براساس شاخص Langlier، چشمه M5 از نوع رسوب‌گذار و سایر چشمه‌ها خورنده است. به جز چشمه M1 و M5 با BOD بیشتر از ۵ ppm، سایر چشمه‌ها با BOD کمتر از ۵ ppm با استاندارد شولر و استاندارد ۱۰۵۳ ایران و WHO مطابقت دارند و آب خالص هستند. میزان MI آب تمام چشمه‌ها کمتر از یک است؛ بنابراین قابل آشامیدن هستند. براساس شاخص آلودگی فلزات سنگین نیز، آب چشمه‌های مناطق مورد مطالعه فاقد آلودگی به فلزات سنگین است. میزان کل جامدات محلول در چشمه‌های مورد نظر در حد استاندارد است. به جز چشمه M3 که فاقد کلیرفرم‌ها با منشأ مدفوعی است، چهار چشمه دیگر آب آلودگی مدفوعی داشته و همه چشمه‌ها، دارای باکتری‌های منشأگرفته از فاضلاب بوده‌اند و در رده آب‌های غیررضایت‌بخش قرار می‌گیرند. نمونه‌های آب مورد مطالعه، عمدتاً در ناحیه‌ای که فرایند سنگی غالب است، قرار می‌گیرند که این امر نشان‌دهنده تأثیر متقابل بین شیمی سنگ و شیمی آب‌های حاصل از بارش است که به زیرزمین نفوذ کرده‌اند.

براساس استانداردهای ایران، همه چشمه‌ها در محدوده مجاز قرار می‌گیرند. پیشنهاد می‌شود مظهر چشمه‌ها به‌طور اصولی بهسازی شده و انتقال آب از طریق شبکه‌های مدرن آبرسانی برای اهالی انجام گیرد. سایر ارزیابی‌ها نظیر آلودگی به سموم آفت‌کش، کدورت و ... مطابق با استانداردهای موجود انجام شود و در اطراف چشمه‌ها نیز با حفر جوی‌های انحرافی، از ورود و نفوذ آب‌های جاری سطح زمین به داخل حوضچه‌ها جلوگیری کرد. از طرفی مطالعات مربوط به عناصر پرتوزا در چشمه‌ها ضروری است.

منابع

۱. پیری علم ر. شمس خرم‌آبادی ق. شاه‌منصوری م. ر. و فرزادکیا م. ۱۳۸۷. تعیین پتانسیل خورندگی یا رسوب‌گذاری آب آشامیدنی شبکه‌های توزیع شهر خرم‌آباد با استفاده از اندیس‌های خوردگی. فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی لرستان، ۱۰(۳): ۷۹-۸۶.

23. Piper A. M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *American Geophysical*. 25(6): 914-928.
24. Rao G. S. and Rao G. N. 2010. Study of groundwater quality in greater Visakhapatnam city, Andhra Pradesh (India). *Journal of Environment Science Engineering*. 52(2): 137-146.
25. Schoeller H. 1995. *Terres et eaux* (Paris-Algiers), Unesco Series, Paris. 4-11.
26. Sharma R. S. and Al-Busaidi T. S. 2001. Groundwater pollution due to a tailing dam *Engineering Geology*. 60: 235-244.
27. Suba Rao N. 2002. Geochemistry of groundwater in parts of Guntur district, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology*. 41: 552-562.
28. Tamasi G. and Cini R. 2004. Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy). Possible risks from arsenic for public health in the Province of Siena. *Science of the Total Environment*. 327: 41-51.
29. W.H.O. 2011. Guidelines for drinking water quality. 4rd ed. CA. Retrieved from www.who.net.
30. Wagh V. M. Panaskar D. B. Jacobs J. A. Mukate S. V. Muley A. A. and Kadam A. K. 2019. Influence of hydro-geochemical processes on groundwater quality through geostatistical techniques in Kadava River basin, Western India. *Arabian Journal of Geosciences*. 12(1): 7.
11. Arvidson J. D. 2006. Relationship of forest thinning and selected water quality parameters in the Santa Fe Municipal Watershed, New Mexico. Hydro-science Concentration Water Resources Program, University of New Mexico.
12. Bartram J. and Balance R. 1996. Water quality monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmers., UNEP/WHO, E and FN Spon, London, UK.
13. Eilers J. M. Brakke D. F. and Henricksen A. 1992. The inapplicability of Gibbs model of world water chemistry for filute lakes. *Limmology and Oceanography*. 37: 1335-1337.
14. Fernandez A. C. Fernandez A. M. Dominguez C. T. and Santos B. L. 2009. Hydrochemistry of northwest Spain ponds and its relationships to groundwaters. *Limnetica*. 25: 433-452.
15. Gaur V. K Gupta, S. K. Pandey S. D Gopal K. and Mishra V. 2005. Distribution of heavy metals in sediment and water of river Gomti. *Environmental Monitoring and Assessment*. 102(1-3): 419-433.
16. Gibbs R. J. 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*. 17: 1088-1090.
17. Gupta N. Nafees S. M. Jain M. K. and Kalpana S. 2010. Assessment of groundwater quality of outer Skirts of kota city with reference to its potential of scale formation and corrosivity. *Journal of chemistry*. 8(3): 1330-1338.
18. Khan R. and Jhariya D. C. 2018. Hydrogeochemistry and Groundwater Quality Assessment for Drinking and Irrigation purpose of Raipur City, Chhattisgarh. *Journal of the Geological Society of India*. 91(4): 475-482.
19. Kotaiah B. and Swamy N. K. 1994. *Environmental engineering laboratory manual*, 1st ed. Charotar Publishing House, Anand, India.
20. Langelier W. F. 1946. Chemical Equilibria in Water Treatment. *Journal of American Water Works Association*. 38(2): 169-178.
21. Mosafari M. Pourakbar M. Shakerkhatibi M. Faterhifar E. and Belvasi M. 2014. Quality modeling of drinking groundwater using GIS in rural communities, northwest of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 12(1): 1-14.
22. Peng J. F. Song Y. H. Yuan P. Cui X. Y. and Qiu G. L. 2009. The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Journal of Hazard Maters*. 161: 633-640.