

بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و شرب‌پذیری چشمه‌های شهری سنندج به عنوان منابع جایگزین در شرایط بحران آبی

مهدی کرد^{۱*}، هاله رستمی^۲، محمدپیام محمودی^۳

۱- استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته زمین‌شیمی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

۳- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: m.kord@uok.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۴/۱۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۲۳

چکیده

شهر سنندج به سبب تغییرات توپوگرافی و شرایط خاص زمین‌شناسی دارای چشمه‌های متعددی در محدوده مسکونی خود است. در سال‌های اخیر، کاهش کیفیت آب شهری، مردم ساکن شهر سنندج و مناطق منفصل شهری را وادار کرده که برای تأمین آب شرب خود به این چشمه‌ها مراجعه کنند. با وجود شدیدتر شدن مراجعات در زمان پاندمی کرونا، تا کنون بررسی جامعی بر روی کیفیت آب این چشمه‌ها از لحاظ فیزیکیوشیمیایی و میکروبی انجام نشده است. این مطالعه با هدف ارزیابی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و کیفیت چشمه‌های شهر سنندج انجام شده است. بدین‌منظور پس از شناسایی چشمه‌های محدوده شهری سنندج، از ۲۶ چشمه در اوایل پاییز ۱۴۰۲ نمونه‌برداری انجام شد. پارامترهای فیزیکیوشیمیایی صحرایی با دستگاه مولتی‌فانکشن، یون‌های اصلی با استفاده از تیتراسیون، فلیم‌فوتومتر و اسپکتروفوتومتر، ۷۰ عنصر جزئی با استفاده از ICP-MS آنالیز شدند و از کشت میکروبی برای اندازه‌گیری کلیفرم کل استفاده گردید. داده‌ها با روش‌های آماری، گرافیکی و تطبیق با استانداردهای کیفی تحلیل شدند. باتوجه به نتایج بدست آمده، هیچ کدام از چشمه‌ها دارای آلودگی عناصر سنگین نبودند. اگرچه برخی از چشمه‌ها از کیفیت مطلوبی برخوردارند، اما تعدادی دیگر به دلیل تأثیرات زمین‌شناسی و به‌ویژه فعالیت‌های انسانی، دارای کیفیت پایین و آلودگی هستند. مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت، شامل غلظت بالای بی‌کربنات، افزایش هدایت الکتریکی (EC) فراتر از استانداردهای شرب و همچنین آلودگی میکروبی در شماری از چشمه‌ها بوده‌اند که در برخی موارد با افزایش مقدار کلر نیز همراه بوده است. بالا بودن میزان نیترات و سولفات در چشمه‌های واقع در مناطق مسکونی تأثیرپذیری چشمه‌ها را از فاضلاب شهری تأیید کرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی میکروبی، چشمه‌های سنندج، کیفیت آب، مناطق مسکونی، هیدروژئوشیمی.

مقدمه

کارآمد برای مصارف مختلف در یک کشور می‌باشد (Mishra and Singh, 2010; Tallaksen and Lanen, 2023). در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در زمینه بررسی کیفیت منابع آبی، به‌ویژه چشمه‌ها، در مناطق مختلف جهان انجام شده است. این پژوهش‌ها نشان‌دهنده تأثیرات متنوعی از جمله فعالیت‌های انسانی، تغییرات اقلیمی و ویژگی‌های زمین‌شناسی بر کیفیت آب می‌باشند.

در سال‌های اخیر پژوهش‌ها بر روی چشمه‌های طبیعی افزایش یافته است چراکه چشمه‌ها را می‌توان به‌عنوان منابع تأمین آب قابل ملاحظه‌ای، در نظر گرفت و با توجه به کیفیت آن‌ها در مصارف گوناگون اعم از شرب، آبیاری و یا صنعت مورد استفاده قرار داد (Aksever, 2019). آگاهی از منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌دلیل نبود و یا کم‌بودن میزان بارش در دوره‌های طولانی، پیش‌نیاز برنامه‌ریزی‌های مؤثر و

Aksever, (2019) به منظور بررسی مشخصات هیدروژئوشیمیایی و ارزیابی کیفیت آب چشمه‌های امیرداگ ترکیه از چشمه‌های این منطقه ۱۰ نمونه جمع‌آوری و از روش‌های گرافیکی برای تحلیل آن‌ها استفاده کرده است. نتایج آن مطالعه نشان داد که خصوصیات کانی‌شناسی منطقه ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها را کنترل می‌کند که ناشی از وجود رخنمون سنگ‌های آهک و دولومیت دوران مزوزوئیک است و علت بالا بودن نیترات در برخی از چشمه‌ها را به مصرف بیش از حد کود در مزارع آن منطقه مرتبط دانسته است.

در پژوهشی دیگر که برای مطالعات کیفی و کاربری چشمه‌های واقع در حوضه باسنتر جاموهیمالیا در هند انجام شده است، ۶۰ نمونه آب چشمه از سه نوع زمین (کوهستانی، تپه‌ای و دشتی) مورد بررسی قرار گرفته است (Taloor et al., 2020). نتایج آن‌ها حاکی از آن بوده است که شیمی چشمه‌ها در درجه اول توسط برهم‌کنش آب و سنگ کنترل می‌شود. نتایج بررسی کیفی آبخوان‌های بهبهان، رامهرمز و زیدون استان خوزستان نیز به خوبی تأثیر انحلال، تبادل کاتیونی و به طور کلی تبادل شیمیایی بین واحدهای سنگی و آب زیرزمینی در این آبخوان‌ها را نشان می‌دهد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۳). حبیبی‌نیا و همکاران (۱۴۰۰) نیز تأثیرپذیری کیفیت آبخوان از سازندهای کربناتی شهبازان و مارنی امیران و کشکان را عامل اصلی تعیین خصوصیات هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی در دشت شیان استان کرمانشاه معرفی کردند که از فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی نیز متأثر شده‌اند.

چشمه‌ها به واسطه تخلیه مداوم و همچنین در دسترس بودن، یکی از گزینه‌های مناسب برای نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی هستند. در مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی دو حوضه آبریز کرانه باختری فلسطین انجام شده است، از ۵۰ چشمه موجود در منطقه نمونه‌برداری صورت گرفته و خواص فیزیکوشیمیایی و میکروبی آن‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است (Ghanem et al., 2021). نتایج این بررسی حاکی از پایین بودن غلظت عناصر سنگین، با وجود

در مطالعه‌ای که به بررسی هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های منطقه مرتفع کوهستانی همدان پرداخته شده، نتایج نشان‌دهنده دو گروه اصلی چشمه‌ها با ویژگی‌های متفاوت در غلظت یون‌ها و TDS بوده است. در این تحقیق، ۵۰ چشمه مورد بررسی قرار گرفت و از روش تجزیه عاملی برای تحلیل داده‌ها استفاده شد (Jalali and Jalali, 2016). نتایج این مطالعه نشان داد که چهار عامل اصلی بر شیمی آب تأثیرگذار هستند که هر یک با ترکیبات شیمیایی خاصی همبستگی دارند.

با افزایش جمعیت، هرروزه تأثیر فعالیت‌های انسانی بر روی منابع آب بیشتر می‌شود. در مطالعات (Malki et al., 2017) که تأثیر فعالیت‌های کشاورزی را بر کیفیت آبخوان چتوکا در جنوب غربی موروکا، مورد بررسی قرار داده‌اند، بیان می‌دارند که حتی نوع آبیاری بر میزان نیترات آب زیرزمینی تأثیرگذار است. همچنین مطالعات تغییرات هیدرووشیمیایی و کیفیت آبخوان جیانگان چین در بخش میانی رودخانه یانگ تسه که به منظور تعیین منبع آلودگی این آبخوان انجام شده است، حاکی از آنست که کودهای کشاورزی و در برخی از نمونه‌ها مواد شیمیایی صنعتی عامل آلودگی بوده‌اند (Niu et al., 2017).

نفوذ فاضلاب به آب‌های زیرزمینی هم معطلی دیگر است که متأثر از فعالیت‌های انسان‌زاد است و سبب آلودگی آب‌های زیر زمینی شده است. کلانتری و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از بررسی منشأ نیترات، نقش فعالیت‌های انسان‌زاد در منابع آب زیرزمینی بهبهان در استان خوزستان را مطالعه کردند.

در پژوهشی دیگر که توسط Barakat et al., (2018) انجام گرفت، آب چشمه‌های موجود در پیدمونت بنی ملال اطلس (مراکش) از نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی برای تأمین آب شرب مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. آنالیزهای میکروبی، آلودگی چشمه‌ها را در زمان‌های مختلف با کلیفرم کل و ایکلاوی و اینتروکوکسی نشان داده‌اند. نتایج آن‌ها تأکید دارد که این منابع تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند فاضلاب، جنگل‌زدایی، فعالیت‌های کشاورزی، دفع زباله و منابع آلودگی غیرنقطه‌ای می‌باشند.

هیدروژئوشیمیایی، ایزوتوپی و میدانی، درجه توسعه کارست، نحوه تغذیه و سنگ مخزن آن را مشخص کرده است (کیانی و همکاران، ۱۴۰۰). این تحقیقات مجموعاً نشان‌دهنده اهمیت بررسی کیفیت چشمه‌ها و تأثیرات متعدد ناشی از عوامل طبیعی و انسانی بر آن‌ها است.

شهر سنندج شهری کوهستانی با میانگین بارش سالیانه ۴۹۲ میلی‌متر است (احمدی و کمانگر، ۱۴۰۲). اما در سال‌های اخیر با بحران بی‌آبی روبه‌رو شده و علاوه بر قطعی‌های مکرر آب شهری در فصول گرم سال، کاهش شدید کیفیت آب شهری، مردم ساکن شهر سنندج و مناطق منفصل شهری را وادار کرده که روزانه برای تأمین آب شرب خود به چشمه‌های واقع در محدوده شهری مراجعه کرده و ساعت‌ها در صف‌های طولانی وقت بگذرانند (شکل ۱). بین سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ که پاندمی کرونا رخ داد، این موضوع شدیدتر شد. مصرف عمومی از چشمه‌های شهر سنندج در حالی است که بررسی جامعی بر روی کیفیت آب این چشمه‌ها از لحاظ فیزیکیوشیمیایی و میکروبی انجام نشده است. از آن‌جا که این مسئله با سلامت عمومی مردم در ارتباط مستقیم است، ضرورت بررسی آن‌را صدچندان می‌کند. این مطالعه با هدف بررسی کیفیت و ارزیابی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های محدوده شهر سنندج انجام شده است.

از دیگر دلایلی که مردم را به استفاده از آب چشمه‌ها واداشته است کیفیت بسیار پایین آب شهری و احساس نارضایتی مردم از طعم و بوی آن در سالیان اخیر است تا جایی که مردم شهر سنندج آب چشمه‌ها را به‌عنوان منبعی جایگزین برای آب شرب مورد استفاده قرار می‌دهند.

با گذشت زمان و گسترش منطقه مسکونی، تعدادی از چشمه‌های موجود در محدوده شهری قرار گرفته‌اند و در اطراف برخی از این چشمه‌ها، منازل مسکونی زیادی ساخته شده است (شکل ۲). از این‌رو علاوه بر تأثیرات طبیعی و زمین‌شناسی، فعالیت انسانی و شهرنشینی کیفیت این چشمه‌ها را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهند. این تأثیرات از آلودگی هوا تا گردشگری و دفع پسماند و غیره را شامل می‌شود.

باتوجه به دلایل ذکر شده و استفاده روزافزون مردم شهر سنندج از این چشمه‌ها و عدم آگاهی از وضعیت بهداشتی و

آلودگی کلیفرم مدفوعی و کل بالا، در بیشتر نمونه‌ها است که اغلب در مناطق پرجمعیت قرار گرفته‌اند.

در ایران نیز مطالعات متنوعی بر روی چشمه‌ها انجام شده است. ابراهیمی‌محمدی (۱۳۹۶) ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و کیفیت آب ۷ چشمه و ۱۵ چاه محدوده دریاچه زریوار را براساس ۱۵ متغیر کیفیت آب طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۲ مورد بررسی قرار داده است. نتایج به‌دست آمده آن‌ها از روش‌های گرافیکی و نسبت‌های یونی مختلف، نشان می‌دهد که میزان سختی آب همه نمونه‌ها بیشتر از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و برای شرب نامطلوب بوده‌اند.

در پژوهشی دیگر، طالبی و همکارانش (۱۳۹۶) از روش‌های گرافیکی و شاخص کیفی آب برای ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی ۱۵ چشمه منطقه شمال دشت قزوین استفاده کرده‌اند. این پژوهش به خوبی نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های گرافیکی، مشخصات کیفی را با جزئیات بیشتری نسبت به استفاده از شاخص کیفی نشان می‌دهند.

سلطانی و اصغری‌مقدم (۱۴۰۰) نیز به‌منظور بررسی هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی دشت بستان‌آباد با روش‌های آماری چند متغیره، از ۳۳ چشمه و چاه نمونه‌برداری کرده‌اند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داده است که افزایش تحرک و یا جذب برخی از فلزات سنگین در آبخوان متأثر از دیگر پارامترهای کیفی است.

در پژوهشی که بر روی حوضه آبریز گاماسیاب استان کرمانشاه با هدف رده‌بندی کیفی منابع آبی این حوضه برای مصارف شرب و کشاورزی انجام شده، پارامترهای SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , TDS, EC, pH مربوط به ۵ ایستگاه از سال ۱۳۵۸-۱۳۹۷ و ۵ حلقه چاه مورد ارزیابی قرار گرفته‌است (جعفری و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج آن‌ها براساس شاخص‌های WQI و GWQI نشان‌دهنده کیفیت عالی آب‌های سطحی و زیرزمینی بوده است. در حالی که نمودارهای کیفی با جزئیات بیشتری خصوصیات کیفی آب را از لحاظ شرب و کشاورزی، مشخص کرده‌اند.

از دیگر مطالعات انجام‌شده بررسی هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی چشمه‌های کارستی ملوسان و باروداب شهرستان نهاوند است که در پهنه سنندج-سیرجان قرار دارد. مطالعات

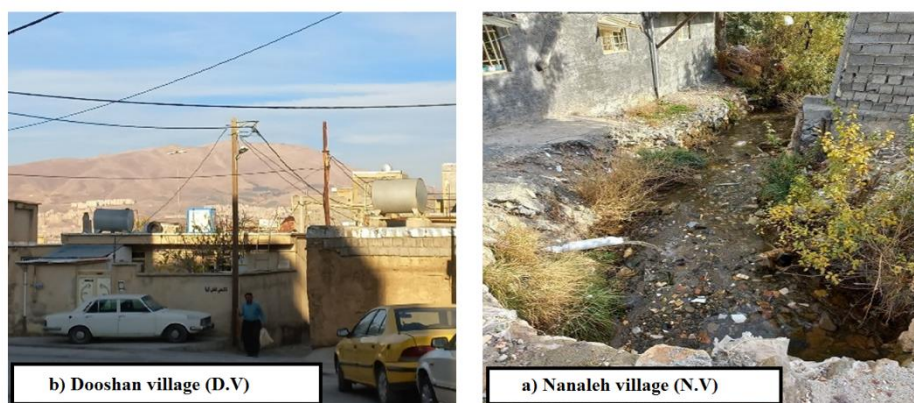
آن‌ها برای شرب و کشاورزی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. از آن‌جا که این موضوع با سلامت عمومی مردم این منطقه و حتی گردشگران ارتباط دارد، بررسی کیفی آن‌ها را لازم و ضروری می‌کند.

مطلوب بودن آن‌ها برای مصرف، انجام این مطالعه دارای اهمیت ویژه‌ای است چرا که در صورت آلوده بودن این منابع، سلامت عمومی جامعه شهری مورد تهدید قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است با وجود چنین شرایطی تاکنون مطالعه کامل هیدروژئوشیمیایی در خصوص ارزیابی کیفیت آب چشمه‌های سنندج انجام نشده و تنها به نمونه‌برداری مقطعی برای بررسی آلودگی میکروبی و برخی از عناصر اصلی چشمه‌ها توسط معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی کردستان اکتفا شده است. در این مطالعه سعی بر آن است تا ضمن بررسی هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های محدوده شهر سنندج کیفیت



شکل ۱- استفاده مردم از چشمه‌های محدود شهر سنندج جهت تأمین آب شرب (a) چشمه ساتیله، (b) چشمه دگایران، (c) کانی سنگ شکن، (d) چشمه کمیز، (e) چشمه تفتقان، (f) چشمه آساوله.

Figure 1- Public utilization of limited springs in Sanandaj for drinking water supply: a) Satelah Spring, b) Degayran Spring, c) Kani Sang-shekan Spring, d) Kamez Spring, e) Taqtaqan Spring, f) Asavlah Spring.



شکل ۲- (a) تخلیه فاضلاب خانگی در فاصله چند متری از چشمه ننه، (b) استفاده مردم از تانکر بر روی پشت بام خانه‌ها به منظور ذخیره آب (روستای دوشان).

Figure 2- a) Release of domestic wastewater a few meters from Nenaleh Spring, b) Public use of rooftop water tanks for water storage (Dooshan Village).

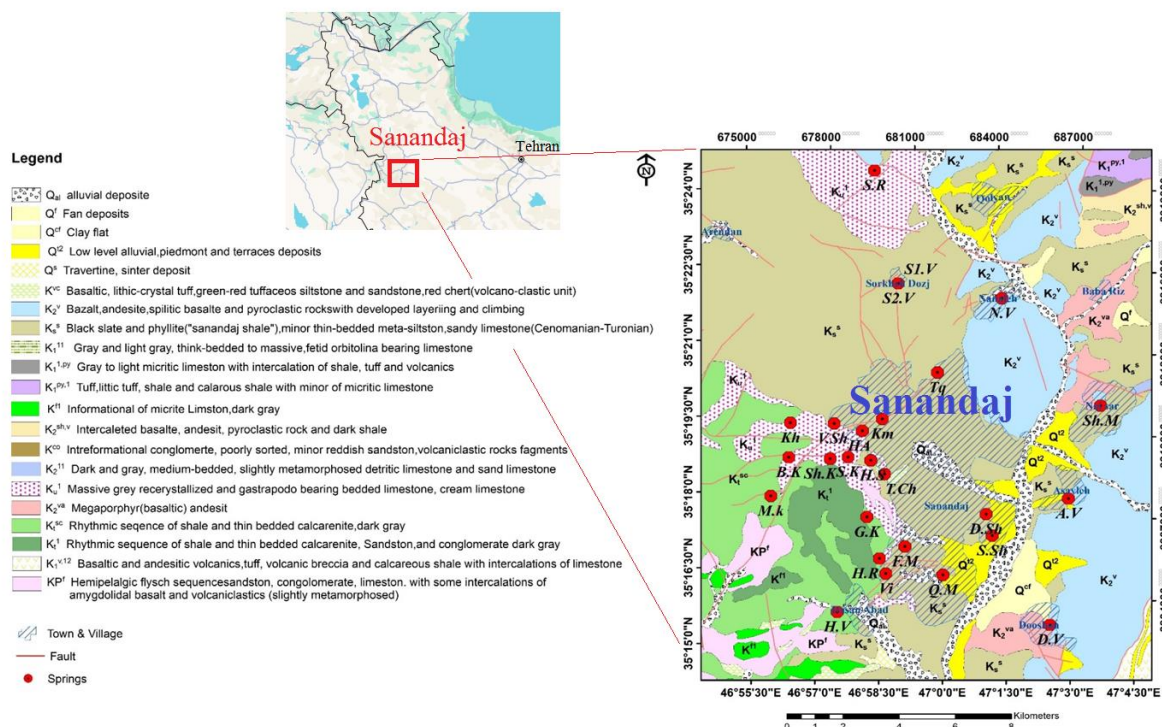
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

دارای میانگین دمای سالانه ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۴۹۲ میلی‌متر است (احمدی و کمانگر، ۱۴۰۲). از لحاظ زمین‌شناسی ساختاری گستره مورد مطالعه در زون سنندج - سیرجان قرار گرفته است. واحدهای سنگ چینه‌ای گستره مورد نظر عمدتاً مربوط به کرتاسه بالایی بوده و علاوه بر آن‌ها رسوبات آبرفتی کواترنری در منطقه دیده می‌شود. واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه بیشتر از شیل، سنگ آهک، فیلیت، اسلیت، ماسه‌سنگ، سنگ‌های ولکانیک با جنس آندزیت، بازالت و توف تشکیل شده‌اند (شکل ۳). همچنین رسوبات کواترنری و تراس‌های آبرفتی در محدوده مورد مطالعه گسترش دارند.

گستره مورد مطالعه شهر سنندج و نواحی اطراف آن است که بین طول‌های جغرافیایی $30^{\circ} 55' 46''$ تا $30^{\circ} 47' 47''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 15' 00''$ تا $35^{\circ} 25' 00''$ شمالی واقع شده است.

شهر سنندج با جمعیت حدود ۵۰۰ هزار نفر و ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا، مرکز استان کردستان می‌باشد. این شهر در گذشته با نام «سنه» شناخته شده و هم‌اکنون نیز در بین مردم محلی با همین نام معروف است. این شهر از لحاظ آب‌وهوایی دارای اقلیم گرم و معتدل است و از نظر دمایی



شکل ۳- موقعیت و نقشه زمین‌شناسی منطقه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ تیز-تیز و سنندج) و محل چشمه‌ها.

Figure 3- Location and geological map of the area (derived from the 1:100,000 geological map of Tizh-Tizh and Sanandaj) and the location of the springs.

خشک در پایین‌ترین حد کیفیت خود قرار دارد در نتیجه معیار خوبی برای تعیین کیفیت آب چشمه‌ها خواهد بود. بنابراین در ابتدای پاییز سال ۱۴۰۲ از ۲۶ چشمه شناسایی شده نمونه‌برداری صورت گرفت.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری عناصر

برای نمونه‌برداری از هر چشمه ۲ بطری یک‌لیتری برای اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و ۲ بطری نیم‌لیتری برای آنالیز میکروبی و عناصر جزئی، تهیه شد. ظروف

در پژوهش حاضر که به منظور ارزیابی کیفیت آب ۲۶ چشمه سطح شهر سنندج از لحاظ هیدروژئوشیمیایی و میکروبی صورت گرفته است، در وهله اول بوسیله تحقیقات میدانی و پرس‌و‌جو از مردم بومی شهر سنندج، لیستی از چشمه‌های محدوده مسکونی که مورد استفاده عمومی قرار دارند، تهیه شد (جدول ۱).

نمونه‌برداری کیفی چشمه‌ها معمولاً در فصل تر و فصل خشک انجام می‌شود. باتوجه به اینکه کیفیت آب چشمه‌ها در فصل

نرم افزارهای مورد استفاده می توان نرم افزارهای Arc GIS، Microsoft، Phreeqc، Hydrogeochem، Google earth و office را ذکر کرد.

یکی از موضوعات مربوط به آلودگی آب های زیرزمینی که در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است بررسی وجود عناصر جزئی است. در استفاده از روش های گرافیکی، عناصر جزئی به کار برده نمی شوند و این دیاگرام ها صرفاً از عناصر اصلی استفاده می کنند. در این میان عناصر فلزی جزئی که حد مجاز آن ها در استاندارد آب آشامیدنی آمده است مانند Ag، Cd، Cu، Hg، Fe، Mn، Zn از اهمیت ویژه ای برخوردارند (اصغری مقدم، ۱۳۹۸).

در جدول ۲ بالاترین حد مجاز (MCL^1) برخی از مهم ترین عناصر سنگین تأثیرگذار بر سلامت، براساس استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USA)، سازمان بهداشت جهانی (WHO)، اتحادیه اروپا (EU) و سازمان استاندارد ایران (ISIRI) برای آب شرب، ارائه شده است.

باکتری های کلیفرم معمولاً به عنوان شاخص کیفیت بهداشتی بودن آب و غذا مورد استفاده قرار می گیرند. در واقع ویژگی های کلیفرم باعث شده است که از آن ها به عنوان شاخص آلوده بودن آب استفاده شود. کشت این باکتری ها ساده است و مانند برخی انواع دیگر پیچیده و دشوار نیست. از طرف دیگر کمتر بیماری زا هستند و از همه مهم تر به سادگی در همه جا پخش می شوند و حضور دارند این ویژگی ها و به ویژه مورد آخر، باعث شده است در حوزه سنجش سلامت از آن ها به عنوان شاخص میکروارگانیسم ها استفاده نمایند. به این معنا که اگر در آزمایش مشخص شود که آب حاوی کلیفرم نیست، با توجه به آسان بودن پراکندگی آن ها، می توان اطمینان داشت که احتمالاً دیگر انواع میکروب ها، مخصوصاً انواع بیماری زا در آب وجود ندارند. کلیفرم ها به ۲ دسته کلیفرم کل^۲ و کلیفرم مدفوعی تقسیم می شوند. واحد بیان کلیفرم تعداد باکتری ها در ۱۰۰ میلی لیتر می باشد.

نمونه برداری قبل از اقدام به نمونه برداری از لحاظ نبود آلودگی بررسی شد و همچنین به منظور اطمینان بیشتر هنگام نمونه برداری ظروف با آب چشمه مورد ارزیابی چند مرتبه شست و شو داده شدند. پس از پر کردن ظروف نمونه برداری، برای جلوگیری از رسوب کاتیون های موجود در آب چند قطره اسیدنیتریک غلیظ به ظروف کاتیون ها و عناصر جزئی اضافه شد (شکل ۴).

از آن جا که پارامترهای دما (T)، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO) و پتانسیل اکسیداسیون و احیاء (Eh) با تغییرات دما و تحت شرایط محیطی دچار تغییر می شوند، این پارامترها با استفاده از دستگاه مولتی فانکشن در محل نمونه برداری اندازه گیری شدند. نمونه های تهیه شده مربوط به آنالیز میکروبی به آزمایشگاه آریاشیمی شریف واقع در کرج و نمونه های مربوط به آنالیز عناصر جزئی برای اندازه گیری فلزات سنگین به شرکت آزمون سلامت آسا در تهران ارسال گردید که روش اندازه گیری عناصر جزئی، طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) بوده است. کاتیون ها و آنیون های اصلی نیز در آزمایشگاه هیدروژئوشیمی دانشگاه کردستان آنالیز شدند. کاتیون های Na^+ و K^+ با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر و آنیون های SO_4^{2-} و NO_3^- توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مورد ارزیابی قرار گرفتند. آنیون های Cl^- ، HCO_3^- ، CO_3^{2-} و کاتیون های Ca^{+2} و Mg^{+2} به روش تیتراسیون آنالیز شدند. برای اطمینان از صحت آنالیزهای هیدروشیمیایی علاوه بر تکرار آزمایشات و نیز ارسال نمونه های تکراری، خطای بالانس یونی (CB) از رابطه ۱ تعیین گردید.

$$CB = \left| \frac{\sum cat - \sum an}{\sum cat + \sum an} \right| \times 100 \quad (1)$$

که در آن، غلظت کاتیون ها (cat) و آنیونها (an) برحسب میلی اکی والان بر لیتر (meq/L) می باشند. درصد خطای قابل قبول بالانس یونی ۵ است و تا ۱۰ نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد (Mazor, 1991).

در این پژوهش نرم افزارها و روش های متعددی جهت تجزیه و تحلیل داده ها مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله

² Total coliform

¹Maximum Contamination Level

جدول ۱- موقعیت و مختصات محل‌های نمونه‌برداری براساس UTM.

Table 1- Location and coordinates of sampling points based on UTM.

Sample		Location	UTMX	UTMY	Elevation (m)
1	Q.M	Qaradian Mosque	682008	3904940	1443
2	Vi	Vila Shahr	679969	3904990	1589
3	F.M	Farooogh Azam Mosque	680651	3905981	1565
4	H.R	Hasan Abad Road	679742	3905544	1672
5	H.V	Hasan Abad Village	678886	3904218	1610
6	T.Ch	Takyeh va Chaman	679925	3908628	1619
7	H.S	Hijab Square	679436	3909133	1638
8	V.Sh	Vahdat Town	678126	3910479	1664
9	HA	Haji Abad	679132	3910217	1608
10	Km	Kamez	679843	3910649	1562
11	S.Sh	Saheli Town	683768	3906378	1424
12	D.Sh	Degayran Town	683548	3907166	1538
13	D.V	Dooshan Village	685826	3903115	1470
14	A.V	Asavlah Village	686483	3907738	1464
15	Sh.M	Shaikh Rash Mosque	687633	3911137	1474
16	N.V	Nannaleh Village	684102	3915069	1472
17	S.R	Satelah	679570	3919747	1578
18	S ₁ .V	Sorkheh Dezaj Village 1	680409	3915612	1563
19	S ₂ .V	Sorkheh Dezaj Village 2	680409	3915612	1563
20	Tq	Taghtaghan	681812	3912352	1587
21	Kh	Khezre Zende Spring	676566	3910510	1963
22	S.K	Sang Shekan Spring	678621	3909256	1812
23	Sh.K	Shafah Spring	677985	3909194	1912
24	M.K	Mamatkeh Spring	675865	3907830	2178
25	G.K	Gweza Kwer Spring	679294	3907064	1814
26	B.K	Banta Spring	676503	3909239	2000



شکل ۴- نمونه‌برداری از چشمه‌های مورد مطالعه، (a) مسجد قرادیان، (b) چشمه خضر زنده، (c) چشمه ویلا شهر، (d) جاده حسن آباد، (e) مسجد شیخ رش و (f) شهرک ساحلی.

Figure 4- Sampling from the studied springs: a) Qaradian Mosque, b) Khezre Zende Spring, c) Vila Shahr Spring, d) Hasan Abad Road, e) Shaikh Rash Mosque, and f) Saheli Town.

جدول ۲- استاندارد آب آشامیدنی.

Table 2- Drinking water standards.

Parameter	Unit	USA (MCL)	WHO (MCL)	EU (MCL)	ISIRI (MCL)
Arsenic	As	ppm	0.05	0.01	0.01
Antimony	An	ppm	0.01	0.02	0.02
Barium	Ba	ppm	2	0.7	0.7
Boron	B	ppm	0.5	1	0.5
Cadmium	Cd	ppm	0.01	0.004	0.05
Chromium	Cr	ppm	0.05	0.05	0.05
Copper	Cu	ppm	1	2	
Cyanide	CN	ppm	0.05	0.07	0.07
Fluoride	F	ppm	2	1.5	
Iron	Fe	ppm	0.3	0.3	
Lead	Pb	ppm	0.05	0.01	0.01
Manganese	Mn	ppm	0.05	0.4	
Mercury	Hg	ppm	0.002	0.006	0.006
Molybdenum	Mo	ppm	0.07		0.07
Nickel	Ni	ppm	0.1	0.07	0.07
Selenium	Se	ppm	0.01	0.01	0.01
Silver	Ag	ppm	0.05	0.1	
Phosphorus	P	ppm		2000	
Uranium	U	ppm	0.015		
Zinc	Zn	ppm	5	0.1	

نتایج و بحث

ویژگی‌های هیدروشیمیایی چشمه‌های نمونه‌برداری شده

آنالیزهای شیمیایی برای یون‌های اصلی و نیترات بلافاصله بعد از نمونه‌برداری در آزمایشگاه هیدروژئوشیمی دانشگاه کردستان اندازه‌گیری شدند. در جدول ۳ خلاصه آماری مرتبط با پارامترهای فیزیکیوشیمیایی اندازه‌گیری شده در صحرا و آزمایشگاه ارائه شده است.

پارامترهای دما (T)، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO) و پتانسیل اکسیداسیون و احیاء (Eh) نمونه‌ها در محل چشمه‌ها و همچنین نتایج حاصل از

جدول ۳- خلاصه آماری پارامترهای فیزیکیوشیمیایی اندازه‌گیری شده در چشمه‌ها.

Table 3- Statistical summary of physicochemical parameters measured in springs.

Parameter	Unit	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Variance	Kurtosis	Skewness	WHO (MCL)	ISIRI (MCL)
pH	-	7	8.19	7.600	0.251	0.063	0.545	-0.030	6.5- 8.5	6.5- 9.2
h	m	1424	2178	1641.62	189.723	35994.8	1.184	1.28		
T	°C	11.6	20.8	16.188	2.439	5.948	-0.660	-0.387		
Eh	mv	-154	-41	-75.42	20.30	412.01	7.91	-2.14		
EC	µs/s	251	1113	488.154	199.027	39611.899	2.413	1.405		
DO	mg/L	13	35	21.985	4.915	24.159	0.737	0.378		
Th	mg/L	166.141	464.789	269.986	79.568	6330.991	-0.299	0.714		500
TDS	mg/L	160.64	712.32	312.418	127.378	16225.034	2.413	1.405	1000	1500
Ca ²⁺	mg/L	59.060	169.860	91.321	26.233	688.156	1.380	1.122	300	200
Mg ²⁺	mg/L	4.230	21.730	10.167	5.391	29.060	-0.331	0.859	30	150
Na ⁺	mg/L	2.854	140.650	15.031	26.039	678.012	22.099	4.555	200	200
K ⁺	mg/L	0.471	2.345	0.807	0.356	0.126	13.279	3.268	400	
Cl ⁻	mg/L	1.772	260.557	31.564	48.260	2329.004	20.488	4.342	250	400
SO ₄ ²⁻	mg/L	10.424	184.523	64.150	48.658	2367.628	0.456	1.139	500	400
HCO ₃ ⁻	mg/L	134.200	441.640	239.214	68.869	4742.950	1.263	0.964	300	
NO ₃ ⁻	mg/L	0.000	32.265	8.162	11.130	123.881	-0.190	1.187	50	45

کانی گویزه کوپر ۲۵ (G.K) از لحاظ اسیدیته در بازه نسبتاً قلیایی قرار می‌گیرند و سایر نمونه‌ها دارای اسیدیته خنثی هستند. با این وجود براساس استانداردهای WHO و ۱۰۵۳

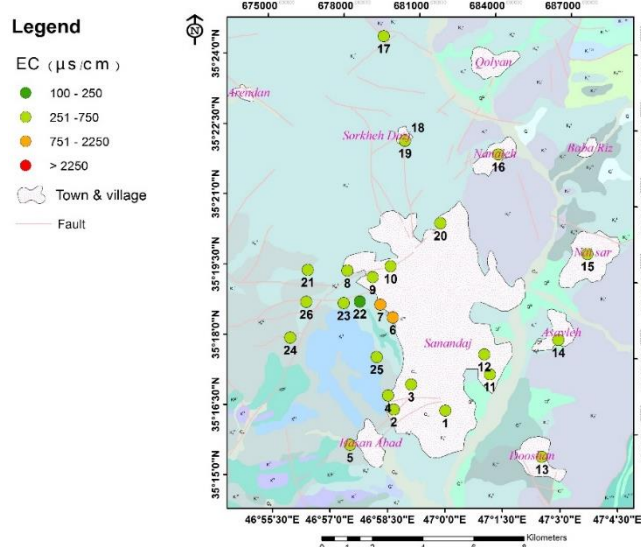
مقدار pH چشمه‌های نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه از ۷ تا ۸/۱۹ با میانگین ۷/۶ متغیر است و براساس داده‌ها تنها نمونه‌های مربوط به چشمه‌های کانی سنگ‌شکن ۲۲ (S.K) و

نزدیک بودن مسیر جریان آب زیرزمینی به سطح زمین در هر یک از این چشمه‌ها مربوط باشد.

هدایت الکتریکی آب یا (EC) برای نمونه‌های برداشت شده از ۲۵۱ تا ۱۱۱۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر بوده و میانگین EC نمونه‌ها برابر با ۴۸۸/۱۵ میکروموس بر سانتی‌متر است (شکل ۵). T.D.S محاسبه شده برای چشمه‌های نمونه‌برداری شده نیز محدوده ۱۶۰/۶۴ تا ۷۱۲/۳۲ را با میانگین ۳۱۲/۴۲ نشان می‌دهد که طبق استاندارد WHO و استاندارد ۱۰۵۳ ایران چشمه‌های شماره ۶ (T.ch) و شماره ۷ (H.S) در رده مجاز و مابقی در رده مطلوب قرار می‌گیرند.

ایران تمامی چشمه‌ها در محدوده اسیدیته مجاز و مطلوب قرار می‌گیرند. به دلیل قرار گرفتن واحدهای کربناته در بالادست و اطراف چشمه‌ها کانی سنگ‌شکن و کانی گویزه‌کوبر می‌توان علت مقدار اندک قلیایی بودن در آن‌ها را به وجود یون بی‌کربنات نسبت داد.

دمای ۲۶ نمونه آنالیز شده از ۱۱/۶ تا ۲۰/۸ درجه سانتی‌گراد و با میانگین ۱۶/۱۸ متغیر می‌باشد. با در نظر گرفتن ارتفاع و دمای هر چشمه می‌توان به این نتیجه رسید که ارتفاع و دمای چشمه‌ها هیچ ارتباطی با هم ندارند و این می‌تواند به مقدار



شکل ۵- نقشه میزان هدایت الکتریکی (EC) چشمه‌های نمونه‌برداری شده بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر.

Figure 5- Map of electrical conductivity (EC) of sampled springs in $\mu\text{S/cm}$.

مقدار سختی کل نمونه‌های آنالیز شده از ۱۶۶/۱۴ تا ۴۶۴/۷۹ متغیر می‌باشد که میانگین TH برای نمونه‌ها برابر با ۲۶۹/۹۹ است. براساس استاندارد ۱۰۵۳ ایران سختی چشمه‌های مورد مطالعه در رده قابل قبول قرار داشتند.

مقدار سختی کل نمونه‌های آنالیز شده از ۱۶۶/۱۴ تا ۴۶۴/۷۹ متغیر می‌باشد که میانگین TH برای نمونه‌ها برابر با ۲۶۹/۹۹ است. براساس استاندارد ۱۰۵۳ ایران سختی چشمه‌های مورد مطالعه در رده قابل قبول قرار داشتند.

مجرای زیرزمینی و ظهور در سطح زمین می‌باشد. بنابراین، شیمی آب‌های چشمه منعکس‌کننده تعامل آب‌های زیرزمینی با سنگ‌های میزبان آب‌خوان و همچنین ترکیبات و افزونه‌هایی شیمیایی است که از سطح به آب اعمال شده است (White, 2010).

غلظت و ترکیب املاح و یون‌های موجود در آب متأثر از عوامل متعددی است که در طول مسیر از محل تغذیه تا تخلیه بر آن تأثیر می‌گذارند. از جمله این عوامل می‌توان به عوامل زمین‌شناسی همچون نوع کانی‌ها، سازندها و لیتولوژی مسیر عبور آب و محل ظهور چشمه، عوامل آب‌وهوایی از قبیل کوهستانی یا کویری بودن ناحیه مورد مطالعه و عوامل هیدروژئولوژیکی چون مقدار مسافت طی‌شده اشاره نمود (اصغری مقدم، ۱۳۹۸). چشمه‌ها، نتیجه تمرکز یک یا چند

از آب این چشمه برای آبیاری فضای سبز واقع در نزدیکی چشمه استفاده می‌نماید. لازم به ذکر است که اکنون محل دپو نمک به جای دیگری انتقال یافته اما همچنان پس از گذشت ۱ سال، میزان شوری آب به حدی زیادی است که مناسب شرب نیست. شیخ الاسلامی و همکاران (۱۳۹۰) عنوان داشته‌اند که استفاده از نمک برای یخ‌زدایی معابر، معایب زیاد بلندمدتی را در پی دارد که می‌تواند به صورت گرد و غبار وارد هوا شده و باقی به صورت محلول وارد خاک و آب زیرزمینی شود و سبب اثرات منفی زیست محیطی شوند. نکته حائز اهمیت دیگری که مطرح است این است که با تغییر مکان محل دپو نمک، مکان مورد نظر به فضای سبز تبدیل شده و در جوار آن فضولات حیوانی به منظور استفاده به عنوان کود طبیعی دپو شده است (شکل ۶). با توجه به نفوذپذیری این منطقه و شور شدن چشمه پایین دست، آلودگی میکروبی چشمه در آینده بسیار بالا می‌رود هرچند که هم اکنون نیز نتایج آنالیز کلیفرم کل چشمه مورد نظر، آلودگی میکروبی را تأیید کرده است.

حد مجاز آنیون HCO_3^- در استاندارد WHO که ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر اعلام شده است و بررسی نمونه‌ها، چشمه‌های ۲ (Vi)، ۳ (F.M)، ۷ (H.S)، ۱۶ (N.V)، ۱۸ (S.V) و ۱۹ (S.V) مقداری بیشتر از ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر و بالاتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی را نشان می‌دهند. همچنین مقدار مجاز Cl^- طبق استاندارد WHO کمتر از ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر در نظر گرفته شده که میزان این آنیون در چشمه ۶ (T.Ch) بیشتری از آن است. با توجه به اختلاف قابل ملاحظه غلظت کلر در چشمه مورد نظر با تمامی چشمه‌های مورد مطالعه، براساس تحقیقات میدانی مشخص شد که شهرداری در بالادست این چشمه، محلی را به عنوان دپو نمک برای یخ‌زدایی در فصول سرد سال در نظر گرفته است و احتمال آن داده شد که بر اثر انحلال نمک‌های سطحی دپو شده، میزان Cl^- این چشمه به صورت چشمگیری افزایش یافته است و مقدار بالاتری از حد مجاز استاندارد را نشان می‌دهد. میزان شوری این چشمه به حدی زیاد است که در طعم آن تأثیر گذاشته و مردم از آن برای مصارف آشامیدن استفاده نمی‌کنند ولی شهرداری منطقه



b) Koodak park



a) Takyeh va Chaman(T.Ch)

شکل ۶- (a) چشمه تکیه و چمن، (b) مکان دپو کود حیوانی.

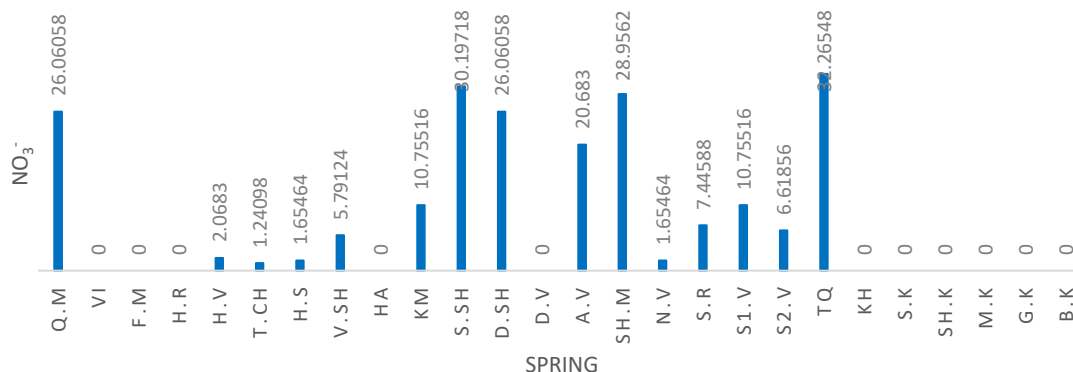
Figure 6- a) Takyeh va Chaman spring, b) Animal manure disposal site.

فاضلاب‌های شهری، کودهای کشاورزی و برخی اوقات کشت چمن‌زارها می‌باشد (Honslow, 2018). مقدار نیترات موجود در نمونه‌های آنالیز شده در شکل ۷ به نمایش درآمده است، که براین اساس ۳۰/۷۸٪ از نمونه‌ها دارای غلظت نیترات بالای ۱۰ mg/L هستند این نمونه‌ها شامل چشمه‌های شماره ۱ (M.Q)، ۱۰ (Km)، ۱۱ (S.Sh)، ۱۲ (D.Sh)، ۱۴ (A.V)، ۱۵ (Sh.M)، ۱۸ (S.Vi) و ۲۰ (Tg) می‌باشند. تمامی چشمه‌های ذکر شده به ترتیب در محلات و

از متداول‌ترین اشکال نیتروژن در آب‌های سطحی و زیرزمینی، نیترات است که در صورت وجود در آب سبب پایین آمدن کیفیت آب خواهند شد (تیموری و اسدی‌نیلوان، ۱۳۹۹). سرعت جذب آن توسط کانی‌های رسی پایین است و به راحتی در آبخوان به حرکت در می‌آید. به طور کلی می‌توان گفت تقریباً تمامی آب‌ها حاوی مقداری نیترات هستند اما غلظت mg/L ۱۰ یا بیشتر نشان‌دهنده آلوده شدن احتمالی آب توسط

رخنمون در یک مکان هستند اما سرچشمه‌های متفاوتی دارند و مسیر عبوری آن‌ها تا محل ظهور چشمه متفاوت است (شکل ۸). به همین دلیل میزان یون‌های آن از جمله نیترات و سایر مشخصات دیگر آن‌ها با یکدیگر متفاوت است.

مناطق مسکونی قرادیان (داخل مسجد)، کمیز، شهرک ساحلی، شهرک دگیان، روستای آساوله، روستای نایسر (داخل مسجد)، روستای سرخه‌دزج و محله تقشقان واقع شده‌اند که در بالادست چشمه‌ها منازل مسکونی ساخته شده است. چشمه‌های ۱۸ (S₁.V) و ۱۹ (S₂.V) با وجود اینکه دارای



شکل ۷- میزان نیترات در چشمه‌های نمونه‌برداری شده برحسب میلی گرم بر لیتر.

Figure 7- Nitrate concentration in sampled springs (mg/L).



شکل ۸- چشمه‌های سرخه دزج (سورازه).

Figure 8- Sorkkeh Dezaj (Surazeh) springs.

کاتیون غالب به تیپ و رخساره‌های هیدروشیمیایی تقسیم می‌شوند. بر همین اساس آب‌های زیرزمینی در چهار تیپ بی‌کربنات، سولفات، کلراید و مخلوط رده‌بندی می‌شوند (اصغری مقدم، ۱۳۹۸). با توجه به کاتیون‌های اصلی آب‌های زیرزمینی به سه رخساره کلسیک، منزیک و سدیک (سدیم و پتاسیم) تقسیم می‌شوند. براساس تیپ و رخساره، چشمه‌های منطقه مورد مطالعه در سه گروه دسته‌بندی می‌شوند. گروه اول که اغلب چشمه‌ها را شامل می‌شود، دارای تیپ و رخساره بی‌کربنات کلسیک است. ۲۱ چشمه‌ای که در این گروه قرار دارند عبارتند از چشمه‌های ۲ (Vi)، ۳ (F.M)، ۴ (H.R)، ۵

براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و استاندارد ۱۰۵۳ ایران حد مجاز برای آنیون NO₃⁻ به ترتیب ۵۰ و ۴۵ میلی گرم بر لیتر در نظر گرفته شده است که براین اساس تمامی نمونه‌ها در محدوده مجاز قرار گرفته‌اند.

منطقه آب و خاک با وجود ضخامت کم و اما فعال از نظر بیولوژیکی تأثیر چشم‌گیری در تغییر شیمی آب دارد. همچنین تعاملات آب و سنگ و فرآیندهای شیمیایی مابین آن‌ها بسته به نوع لیتولوژی در مسیر عبور آب از منطقه تغذیه تا تخلیه بر غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های آب تأثیرگذار است. آب‌های زیرزمینی با ماهیت ژئوشیمیایی متفاوت براساس آنیون و

به طوری که نمونه‌ها در سه مربع اول، چهارم و نهم قرار گرفته‌اند. مربع شماره ۹ نشان‌دهنده آب‌هایی با یون‌های غالب Na^+ و Cl^- است که در انتهای چرخه آب قرار دارند و نمونه شماره ۶ (T.ch) در این محدوده قرار گرفته است.

مربع شماره ۴ دارای آنیون غالب SO_4^{2-} و کاتیون غالب Ca^{+2} می‌باشد و می‌تواند نشان‌دهنده آب تغذیه شده در ته-نشست‌های گچی و یا لاواها باشد در غیر این صورت انحلال ساده آب را در مسیر نشان می‌دهد. علاوه بر آن نشت از فاضلاب و مواد شوینده هم می‌تواند مقدار سولفات را افزایش دهند. نمونه‌های ۱ (Q.M)، ۱۰ (Km)، ۱۱ (S.Sh) و ۱۲ (D.Sh) در این محدوده قرار می‌گیرند. نمونه‌های بیان شده دارای آنیون غالب بی‌کربنات می‌باشند ولی میزان سولفات بالایی نیز دارند.

مربع شماره ۱ آب‌هایی با یون‌های غالب HCO_3^- و Ca^{+2} را نشان می‌دهد و نشان دهنده آب‌های تغذیه شده به سفره‌های آهکی و ماسه‌سنگی و برخی سفره‌های دیگر می‌باشد. چشمه-های ۲ (Vi)، ۳ (F.M)، ۴ (H.R)، ۵ (H.V)، ۷ (H.S)، ۸ (V.Sh)، ۹ (HA)، ۱۳ (D.V)، ۱۴ (A.V)، ۱۵ (Sh.M)، ۱۶ (N.V)، ۱۷ (S.R)، ۱۸ (S1.V)، ۱۹ (S2.V)، ۲۰ (Tq)، ۲۱ (Kh)، ۲۲ (S.K)، ۲۳ (Sh.K)، ۲۴ (M.K)، ۲۵ (G.K) و ۲۶ (B.K) در این محدوده قرار گرفته‌اند.

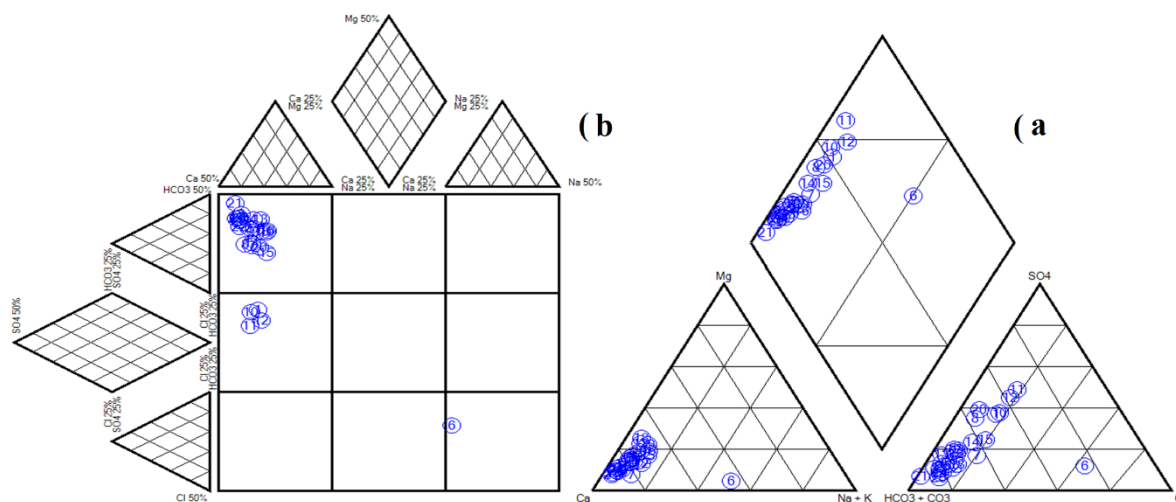
رخساره‌های هیدروشیمی اصطلاحی است که برای بیان تفاوت شیمیایی آب‌های زیرزمینی به کار می‌رود (Fetter, 2001). نمودار استیف برای به دست آوردن سریع رخساره‌های هیدروشیمیایی و همچنین تشخیص سنگ منشأ آب می‌تواند بسیار مفید و کاربردی باشد (Hounslow, 2018). نمودارهای استیف برای چشمه‌های نمونه‌برداری شده از سه الگو پیروی می‌کنند که در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند.

(H.V)، (H.S) ۷، (V.Sh) ۸، (HA) ۹، (D.V) ۱۳، (A.V) ۱۴، (Sh.M) ۱۵، (N.V) ۱۶، (S.R) ۱۷، (S1.V) ۱۸، (S2.V) ۱۹، (Tq) ۲۰، (Kh) ۲۱، (S.K) ۲۲، (Sh.K) ۲۳، (M.K) ۲۴، (G.K) ۲۵ و (B.K) ۲۶.

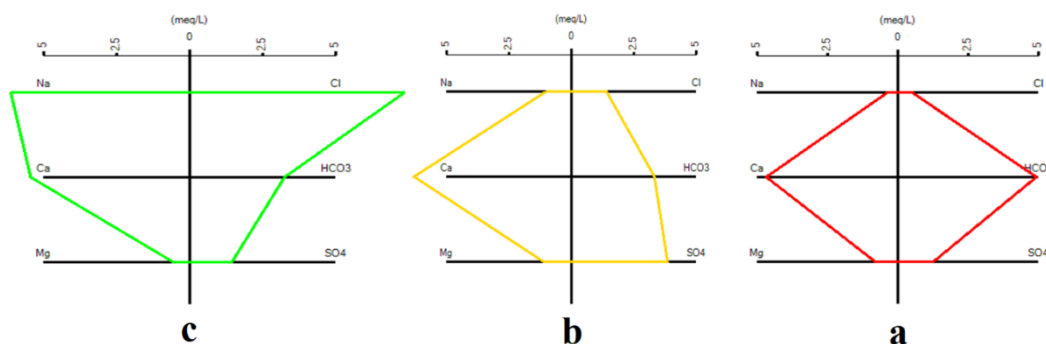
گروه دوم را چشمه‌های با ترکیب $\text{Ca-HCO}_3-\text{SO}_4$ و Ca- $\text{SO}_4\text{-HCO}_3$ تشکیل می‌دهند که غلظت کلسیم و بی‌کربنات و سولفات در آن‌ها مقدار بالایی را نشان می‌دهد و شامل ۴ چشمه‌ی ۱ (Q.M)، ۱۰ (Km)، ۱۱ (S.Sh)، ۱۲ (D.Sh) می‌باشد.

گروه سوم نیز دارای ترکیب Na-Cl یا کلرات سدیک است که تنها عضو این گروه را چشمه شماره ۶ (T.ch) تشکیل می‌دهد. باتوجه به نمودار پایپر (شکل ۹-الف) چشمه‌های ۱ (Q.M)، ۱۰ (Km)، ۱۲ (D.Sh) در محدوده آب‌های اختلاطی قرار گرفته و چشمه ۱۱ (S.Sh) با یون غالب SO_4^{2-} در بالاترین قسمت لوزی نمودار پایپر قرار می‌گیرد که براین اساس واکنش ژئوشیمیایی غالب برای این چشمه‌ها تبادل یونی معکوس است اما باید خاطر نشان کرد که این موضوع به علت غلظت بالای یون سولفات در آب این چشمه می‌باشد. به دلیل درز و شکافی بودن چشمه و قرارگیری آن در منطقه مسکونی علت بالای سولفات آن را می‌توان به نشت از فاضلاب مرتبط دانست. چشمه ۶ (T.ch) در گوشه سمت راست نمودار قرار گرفته که نشان‌دهنده انتهای چرخه آب بوده و آب‌های خیلی شور در این ناحیه قرار می‌گیرند. از آن‌جا که چشمه تکیه و چمن در دامنه آبیدر قرار دارد به محل تغذیه نزدیک است اما به دلیل دپوی نمک و کود حیوانی در مناطق بالادست، آب این چشمه تحت تأثیر قرار گرفته است. باقی چشمه‌ها در گوشه سمت چپ نمودار قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده نزدیک بودن این منابع به محل تغذیه است.

همانطور که در شکل ۹-ب قابل مشاهده است، نمودار دوروف نسبت به پایپر تفکیک کیفی بهتری از نمونه‌ها را ارائه داد



شکل ۹- نمودارهای (a) پایپر و (b) دوروف بسط داده شده چشمه‌های آنالیز شده منطقه مورد مطالعه.
Figure 9- Diagrams of analyzed springs in the study area: a) Piper diagram and b) Expanded Durov diagram.



شکل ۱۰- الگوهای حاصل از رسم نمودار استیف برای چشمه‌های شهر سنندج.
Figure 10- Patterns from Stiff diagram plotting for Sanandaj city springs.

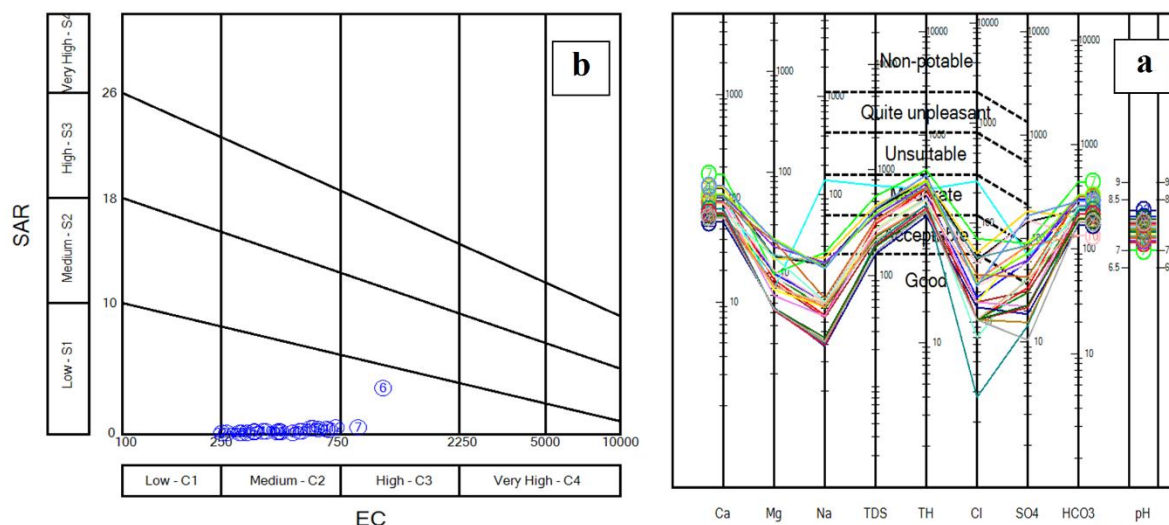
چشمه‌های ۲ (Vi)، ۳ (F.M)، ۴ (H.R)، ۵ (H.V)، ۷ (H.S)، ۸ (V.Sh)، ۹ (HA)، ۱۳ (D.V)، ۱۴ (A.V)، ۱۵ (Sh.M)، ۱۶ (N.V)، ۱۷ (S.R)، ۱۸ (S1.V)، ۱۹ (S2.V)، ۲۱ (Kh)، ۲۲ (S.K)، ۲۳ (Sh.K)، ۲۴ (M.K)، ۲۵ (G.K) و ۲۶ (B.K) دارای سنگ منشاء آهک و دولومیت می‌باشد و با لیتولوژی منطقه مورد مطالعه مطابقت دارد.

برای بررسی کاربری شرب علاوه بر استفاده از استانداردهای کیفی، از نمودار شولر هم استفاده می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۱۱- الف نشان داده شده است چشمه میدان حجاب (H.S) با داشتن سختی بالا، از نظر شرب در محدوده نامناسب و سایر چشمه‌ها در رده قابل قبول تا معتدل و میانه قرار می‌گیرند. چشمه میدان حجاب در انتهای دره تفریحی قرار دارد که در پایین دست محل عبور آب‌های سطحی و فاضلاب مغازه‌ها و سرویس‌های بهداشتی قرار دارد.

چشمه‌های ۱ (Q.M)، ۱۰ (Km)، ۱۱ (S.Sh)، ۱۲ (D.Sh) و ۲۰ (Tq) نشان‌دهنده مقدار زیادی سولفات هستند. نمودار استیف سنگ منشاء آن‌ها شبیه به سنگ‌های کربناتی است که مقدار سولفات آن زیاد است. با توجه به لیتولوژی غالب منطقه که شیل و سنگ آهک است و همچنین قرار گرفتن چشمه‌ها در مناطق مسکونی نتیجه گرفته شد این میزان سولفات منشأ انسانی داشته و ناشی از نفوذ فاضلاب می‌باشد.

نمک‌های محلول در نمونه مشخص می‌گردد که می‌تواند بر روی رشد گیاهان تأثیرگذار باشد، ساختار خاک را برهم زند و نفوذپذیری خاک را کاهش دهد. SAR نسبت مقدار یون Na^+ به یونهای Ca^{+2} و Mg^{+2} را نشان می‌دهد. سدیم به دلیل کاهش نفوذپذیری و کاهش جریان آب در خاک نقش منفی را ایفا می‌کند و با جایگزین شدن به جای Ca^{+2} و Mg^{+2} ساختار خاک را برهم می‌زند و باعث پراکندگی ذرات رس می‌شود (Bouderbala and Gharbi, 2017).

نمودار USSSL نیز برای بررسی کیفی آب چشمه‌های سنندج از لحاظ کشاورزی رسم و در شکل ۱۱-ب نشان داده شده است. نمونه‌های شماره ۶ (T.Ch) و ۷ (H.S) در نمودار USSSL در محدوده C3S1 و سایر نمونه‌ها در محدوده C2S1 قرار گرفته‌اند که به ترتیب نشان‌دهنده رده کیفی خوب تا قابل قبول و رده عالی تا خوب هستند. مقدار بالای EC بر بهره‌وری محصول تأثیرگذار بوده و پتانسیل عمل را کاهش خواهد داد (Wilcox and Durum, 1967). درصد Na^+ براساس غلظت کل



شکل ۱۱- نمودارهای کیفی (a) شور و (b) USSSL.

Figure 11- Quality diagrams: a) Schoeller, and b) USSSL.

ضرایب اشباع برای فازهای مختلف کانیایی نیز به‌وسیله نرم‌افزار phreeqc محاسبه شده و نتایج نشان می‌دهند که تمامی چشمه‌ها از لحاظ فاز کلسیت فوق‌اشباع هستند. از لحاظ فاز آراگونیت نمونه ۶ (T.Ch) تحت اشباع بوده و باقی چشمه‌ها فوق‌اشباع هستند. از لحاظ دولومیت نیز چشمه‌های ۲ (Vi)، ۸ (V.Sh)، ۱۳ (D.V)، ۱۴ (A.V)، ۱۵ (Sh.M)، ۱۷ (Sh.M)، ۱۸ (S1.V)، ۱۹ (S2.V)، ۲۰ (Tq)، ۲۱ (Kh)، ۲۲ (S.K)، ۲۳ (Sh.K)، ۲۴ (M.K)، ۲۵ (G.K) و ۲۶ (B.K) با داشتن ضریب اشباع منفی کوارتز تحت‌اشباع هستند. تمامی چشمه‌ها از لحاظ کانی‌های تالک، هالیت و سیدریت تحت اشباع بوده و قادر به انحلال این کانی‌ها هستند. همچنین از لحاظ گوتیت و هماتیت فوق‌اشباع می‌باشند. از لحاظ هیدروکسید آهن III چشمه‌های ۱۱ (S.Sh)، ۱۲ (D.Sh)، ۱۳ (D.Sh)، ۱۴ (D.V)، ۱۵ (Sh.M)، ۱۶ (N.V)، ۱۷ (S.R)، ۱۸ (S1.V)، ۱۹ (S2.V)، ۲۰ (Tq)، ۲۱ (Kh)، ۲۲ (S.K)، ۲۳ (Sh.K)، ۲۴ (M.K)، ۲۵ (G.K) و ۲۶ (B.K) تحت‌اشباع و چشمه‌های ۱ (Q.M)، ۲ (Vi)، ۳ (F.M)، ۴ (H.R)، ۵ (H.V)، ۶ (T.Ch)، ۷ (H.S)، ۸ (V.Sh)، ۹ (HA)، ۱۰ (Km) و ۱۱ (S.Sh) فوق‌اشباع هستند. براساس ضرایب کانیایی می‌توان نوع آب این چشمه‌ها را پوسته‌گذار در نظر گرفت.

ضرایب اشباع برای فازهای مختلف کانیایی نیز به‌وسیله نرم‌افزار phreeqc محاسبه شده و نتایج نشان می‌دهند که تمامی چشمه‌ها از لحاظ فاز کلسیت فوق‌اشباع هستند. از لحاظ فاز آراگونیت نمونه ۶ (T.Ch) تحت اشباع بوده و باقی چشمه‌ها فوق‌اشباع هستند. از لحاظ دولومیت نیز چشمه‌های ۲ (Vi)، ۸ (V.Sh)، ۱۳ (D.V)، ۱۴ (A.V)، ۱۵ (Sh.M)، ۱۷ (Sh.M)، ۱۸ (S1.V)، ۱۹ (S2.V)، ۲۰ (Tq)، ۲۱ (Kh)، ۲۲ (S.K)، ۲۳ (Sh.K)، ۲۴ (M.K)، ۲۵ (G.K) و ۲۶ (B.K) با داشتن ضریب اشباع منفی کوارتز تحت‌اشباع هستند. تمامی چشمه‌ها از لحاظ گوتیت و هماتیت فوق‌اشباع می‌باشند. از لحاظ هیدروکسید آهن III چشمه‌های ۱۱ (S.Sh)، ۱۲ (D.Sh)، ۱۳ (D.Sh)، ۱۴ (D.V)، ۱۵ (Sh.M)، ۱۶ (N.V)، ۱۷ (S.R)، ۱۸ (S1.V)، ۱۹ (S2.V)، ۲۰ (Tq)، ۲۱ (Kh)، ۲۲ (S.K)، ۲۳ (Sh.K)، ۲۴ (M.K)، ۲۵ (G.K) و ۲۶ (B.K) تحت‌اشباع و چشمه‌های ۱ (Q.M)، ۲ (Vi)، ۳ (F.M)، ۴ (H.R)، ۵ (H.V)، ۶ (T.Ch)، ۷ (H.S)، ۸ (V.Sh)، ۹ (HA)، ۱۰ (Km) و ۱۱ (S.Sh) فوق‌اشباع هستند. براساس ضرایب کانیایی می‌توان نوع آب این چشمه‌ها را پوسته‌گذار در نظر گرفت.

از لحاظ انحلال سیلیس تمامی چشمه‌ها تحت اشباع بودند. مقادیر مثبت ضریب اشباع کوارتز برای چشمه‌های ۱ (Q.M)، ۲ (Vi)، ۳ (F.M)، ۴ (H.R)، ۵ (H.V)، ۶ (T.Ch)، ۷ (H.S)، ۸ (V.Sh)، ۹ (HA)، ۱۰ (Km)، ۱۱ (S.Sh)، ۱۲ (D.Sh) و ۱۳ (D.Sh) از لحاظ انحلال سیلیس تمامی چشمه‌ها تحت اشباع بودند.

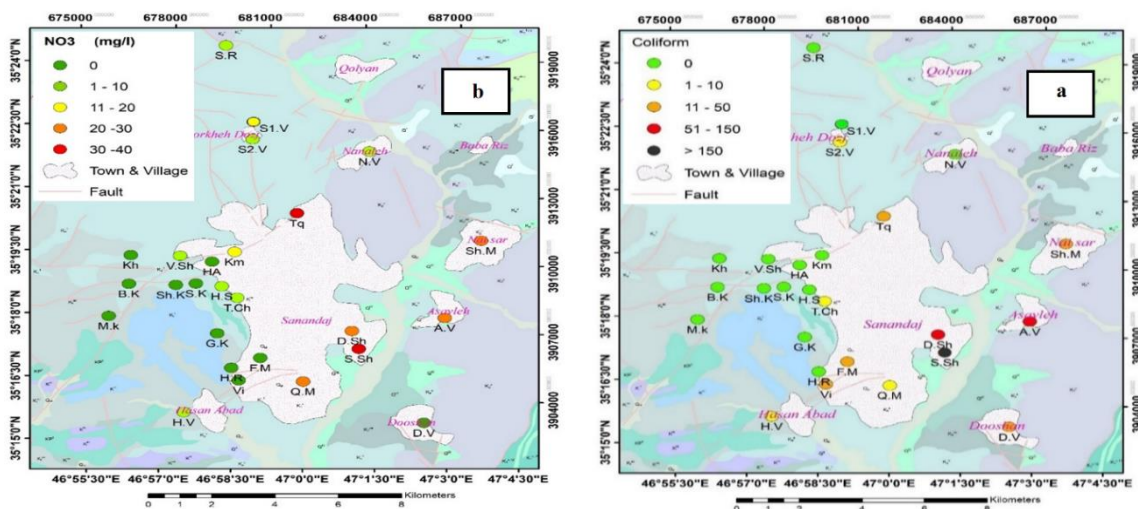
نتایج آنالیز کلیفرم کل

برای ارزیابی میکروبی چشمه‌ها در این پژوهش، کلیفرم کل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. باتوجه به نتایج حاصل چشمه‌های شماره ۱ (Q.M)، ۲ (Vi)، ۳ (F.M)، ۵ (H.V)، ۶ (T.ch)، ۱۱ (S.Sh)، ۱۲ (D.Sh)، ۱۳ (D.V)، ۱۴ (A.V)، ۱۵ (Sh.M)، ۱۹ (S2.V) و ۲۰ (Tq) دارای آلودگی میکروبی هستند و مناسب شرب نیستند (شکل ۱۲- الف). لازم‌به‌ذکر است تمامی چشمه‌های آلوده در مناطق مسکونی قرار گرفته‌اند. در روستای سرخه‌دزج، علت آلوده‌بودن چشمه ۱۹ (S2.V) و آلوده‌نبودن چشمه ۱۸ (S1.V) را همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر شد، داشتن منشأهای متفاوت و مسیر عبور متفاوت آب چشمه از سرچشمه تا محل خروج آب بیان کرد. مردم ساکن این روستا نیز بیان کردند که دو چشمه دارای طعم متفاوتی هستند و از طعم و مزه آب چشمه شماره ۱۹ (S2.V) که دارای آلودگی میکروبی است ناراضی بودند. همخوانی توزیع

کلیفرم و نیترات گویای منشأ مشترک آلودگی است (شکل ۱۲- ب).

معاونت بهداشتی علوم پزشکی کردستان و سازمان آب و فاضلاب درسال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ بر روی برخی از چشمه‌های محدوده شهر سنندج مطالعات میکروبی انجام داده و آن‌ها را از لحاظ کلیفرم گرمپای مورد بررسی قرار داده‌اند (جدول ۴).

ملاحظه می‌شود که تنها برخی از چشمه‌های محدوده سنندج جهت آنالیز، نمونه‌برداری شده‌اند و چشمه‌های قرار گرفته در برخی از نقاط شهر، همچون مسجد قرادیان (Q.M) شهرک ساحلی (S.Sh)، شهرک دگران (D.Sh) و روستای آساوله (A.V) بدون آلودگی و قابل شرب گزارش شده‌اند، این درحالی است که در مطالعه حاضر، نتایج آنالیز کلیفرم کل برای این چشمه‌ها آلودگی میکروبی را نشان می‌دهد. با توجه به این قضیه می‌توان گفت که باگذشت زمان چشمه‌ها در معرض منابع آلودگی قرار گرفته و آلوده شده‌اند.



شکل ۱۲- نقشه میزان (a) کلیفرم و (b) نیترات در چشمه‌های شهر سنندج.
Figure 12- Map of a) Coliform, and b) Nitrate levels in Sanandaj city spring.

نتایج آنالیز ICP-MS

غلظت عناصر جزئی آلاینده بستگی به منبع و محیط هیدروژئولوژیکی آب زیرزمینی دارد و معمولاً در حدود میکروگرم و حتی نانوگرم در لیتر است که به‌دلیل تأثیر تراکمی زنجیره تغذیه‌ای، با وجود مقدار بسیار کم می‌تواند بسیار خطرناک باشند. افزایش شناخت نقش تأثیرگذار عناصر جزئی در سلامتی انسان احتمال این‌که در سال‌های آینده تعداد

بیشتری از این عناصر مورد توجه و بررسی قرار گیرند را افزایش می‌دهد (اصغری مقدم، ۱۳۹۸).

در پژوهش انجام شده ۷۰ عنصر موجود در آب چشمه‌ها با روش ICP-MS اندازه‌گیری شدند که نتایج در جدول ۵ آورده شده است. خوشبختانه با مقایسه مقادیر به‌دست آمده عناصر سنگین با میزان تعیین شده در استاندارد آب آشامیدنی، تمامی چشمه‌ها عاری از آلاینده‌های سنگین هستند.

علاوه بر موارد ذکر شده در جدول ۵ عناصر Cd, Bi, Be, Ag, Ir, In, Ho, Hg, Hf, Gd, Ge, Eu, Er, Dy, Cs, Cr, Co, Ce, Sb, Ru, Rh, Re, Pt, Pr, Pd, P, Os, Ni, Nd, Nb, Lu, La, Zr و Yb, Y, Tm, Tl, Th, Te, Rb, Tb, Ta, Sn, Sm, Se, Sc نیز کمتر از مقدار تشخیص بوده‌اند. بررسی کیفی چشمه‌های حوالی صومعه‌سرا در غرب شهرستان رشت، به‌طور مشابهی نشان داده است که با وجود عدم آلودگی چشمه‌ها با فلزات سنگین، تمامی آن‌ها دارای آلودگی میکروبی بوده‌اند (مظفری و همکاران، ۱۴۰۰). این مسأله با نتایج مطالعه Ghanem et al., (2021) مبنی بر بالا بودن آلودگی میکروبی و پایین بودن عناصر سنگین آب چشمه‌ها به واسطه واقع شدن آن‌ها در مناطق جمعیتی نیز هم‌خوانی دارد. از این‌رو بررسی کیفی آب چشمه‌ها از جنبه‌های مختلف ضروری به نظر می‌رسد و نباید صرفاً به بررسی عناصر اصلی اکتفا کرد.

جدول ۴- داده‌های آنالیز کلیفرم گرم‌پای اندازه‌گیری شده توسط علوم پزشکی و سازمان آب و فاضلاب.

Table 4- Thermotolerant Coliform analysis data measured by Medical Sciences and Water and Wastewater (Abfa) Organizations.

Sample location	Abbreviation	Thermotolerant Coliform (Abfa, 2020)	Thermotolerant Coliform (Medical Sciences, 2021)	Thermotolerant Coliform (Medical Sciences, 2020)
Farough Azam Mosque	F.M	-	9.1	-
Qaradian Mosque	Q.M	-	0	-
Vila Shahr	Vi	-	3.6	-
Vahdat Town	V.Sh	0	0	0
Haji Abad	HA	-	0	-
Kamez	Km	0	0	0
Hijab Square	H.S	-	0	-
Takveh va Chaman	T.Ch	0	-	0
Hasan Abad Road	H.R	-	0	0
Khezre Zنده Spring	Kh	-	0	-
Asavlah Village	A.V	-	0	-
Satelah	S.R	-	-	0
Sorkheh Dezaj Village	S.V	2	-	0
Degayran Town	D.Sh	-	0	-
Saheli Town	S.Sh	-	0	-
Sang Shekan Spring	S.K	-	0	0

جدول ۵- نتایج آنالیز ICP-MS چشمه‌های مورد مطالعه برحسب ppb.

Table 5- ICP-MS analysis results of studied springs (ppb).

Element	Unit	Min	Max	Mean	Median
Al	ppb	<1	82.90436093	18.60592875	10.93094
As	ppb	<1	3.760213396	1.174559081	<1
B	ppb	20	110	50.8	50
Ba	ppb	2.419335335	42.42415851	17.09063484	15.53026
Ca	ppb	59060	169860	92360.4	89490
Cu	ppb	<1	36.15315973	4.884473882	<1
Fe	ppb	<1	170.6193472	24.92497904	<1
Ga	ppb	<1	5.565677262	2.2735511	2.103493
K	ppb	<1	1030	168.456	140
Li	ppb	<1	8.693845555	2.929397664	2.062876
Mg	ppb	4230	21730	10398	9240
Mn	ppb	<1	21.00238671	4.620868869	1.258283
Mo	ppb	<1	3.653356268	0.995545774	<1
Na	ppb	990	102510	9924.4	5920
Pb	ppb	<1	7.005876229	1.256422942	<1
S	ppb	2160	37070	13455.6	12530
Si	ppb	2920	7860	5711.6	6110
Sr	ppb	300	1200	623.2	580
Ti	ppb	<1	2.649170144	<177966805772237	<1
U	ppb	<1	1.039526394	<113581055759037	<1
V	ppb	<1	2.928280784	0.894615583	<1
W	ppb	<1	5.46039377	1.085409325	<1
Zn	ppb	<1	44.25405918	13.0904884	9.833797

نتیجه گیری

پژوهش‌های بیشتر در زمینه شناسایی منابع آلودگی و ارائه راهکارهای مناسب برای مدیریت آن‌ها نیز ضروری است.

منابع

ابراهیمی محمدی، ش.، ۱۳۹۶. ارزیابی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و کیفیت آب چشمه‌ها و چاه‌های محدوده دریاچه زریوار. اکوهیدرولوژی، ۴(۴): ۱۰۶۰-۱۰۴۹.

احمدی، م.، کمانگر، م.، ۱۴۰۲. تحلیل آماری و پیش‌بینی دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج با کاربرد مدل SARIMA. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۱): ۱-۱۳.

اصغری مقدم، ا.، ۱۳۸۹. اصول شناخت آبهای زیرزمینی، "چاپ اول"، انتشارات دانشگاه تبریز، ۳۴۹ ص.

تیموری، م.، اسدی نیلوان، ا.، ۱۳۹۹. تاثیر کاربری اراضی و زمین شناسی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره و زمین آمار، مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبریز حبله رود. هیدروژئومورفولوژی، ۷(۲۵): ۱۹-۳۷.

حبیبی نیا، ه.، کرد، م. و طاهری، ک.، ۱۴۰۰. تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت و خصوصیات ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت شیان، کرمانشاه. هیدروژئولوژی، سال ششم، شماره ۱، ۱۱۴-۱۲۵.

جعفری، ن.، حافظ پرست، م. و فرهادی، ب.، ۱۴۰۰. ارزیابی کیفی منابع آب جهت مصارف شرب و کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز گاماسیاب، استان کرمانشاه). مطالعات علوم محیط زیست، ۶(۲)، ۳۵۲۵-۳۵۳۲.

شیخ الاسلامی، ع.، آرمان، م. ع. و خاکسار، ح.، ۱۳۹۰. مقایسه تطبیقی مواد مورد استفاده برای یخ‌زدایی جاده‌ها در زمستان و پیشنهاد مواد مناسب برای راه‌های ایران. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۶ و ۷ اردیبهشت، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

طالبی، ب.، سجادی، ن. و شارمد، ت.، ۱۳۹۶. ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی در چشمه‌های منطقه شمال دشت قزوین. پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، ۱۲(۲): ۱۶-۱.

پژوهش حاضر با هدف بررسی کیفی و هیدروشیمیایی چشمه‌های شهرستان سنندج انجام شد. نتایج این بررسی نشان داد که اگرچه هیچ‌کدام از چشمه‌ها آلودگی ناشی از عناصر سنگین ندارند، اما متأسفانه تعدادی از آن‌ها از نظر میکروبی آلوده بوده و برای شرب مناسب نیستند. چشمه‌های قرادیان، ویلاشهر، مسجد فاروق اعظم، روستای حسن آباد، تکیه و چمن، شهرک ساحلی، شهرک دیاگران، روستای دوشان، روستای آساوله، مسجد شیخ رش، چشمه دوم روستای سرخه‌دزج (سورازه) و محله تققان در این دسته قرار می‌گیرند.

علاوه بر آلودگی میکروبی، برخی از چشمه‌ها دارای مشکلات دیگری نیز هستند. برای مثال، چشمه‌های ویلاشهر، مسجد فاروق اعظم، میدان حجاب، روستای ننه و هر دو چشمه سرخه‌دزج (سورازه) دارای غلظت بالای بی‌کربناته هستند. چشمه تکیه و چمن نیز به دلیل میزان بالای کلر و EC بالاتر از استاندارد WHO، در رده نامطلوب قرار گرفته و برای شرب مناسب نیست. چشمه میدان حجاب نیز به دلیل بی‌کربناته و EC بالا، شرایط مشابهی دارد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بالا بودن میزان نیترات و سولفات در چشمه‌های واقع در مناطق مسکونی، نشان‌دهنده تأثیرپذیری این چشمه‌ها از فاضلاب شهری است. این موضوع، ضرورت توجه بیشتر به مدیریت فاضلاب و جلوگیری از ورود آن به منابع آب زیرزمینی را آشکار می‌سازد. با توجه به یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که اقدامات زیر برای بهبود کیفیت آب چشمه‌های سنندج در دستور کار قرار گیرد:

- ۱- جابجایی مکان دپو نمک و کود حیوانی واقع در پارک کودک که در بالادست چشمه تکیه و چمن قرار دارد، به منظور جلوگیری از آلودگی آب این چشمه.
- ۲- تعیین حریم کیفی برای چشمه‌ها، به منظور حفاظت از آن‌ها در برابر آلودگی‌های مختلف.
- ۳- انجام پایش دوره‌ای چشمه‌ها، به منظور ارزیابی مستمر کیفیت آب و شناسایی زود هنگام مشکلات احتمالی.
- ۴- محوطه‌سازی مناسب برای چشمه‌ها و نصب تابلوی کیفی، به منظور اطلاع‌رسانی به مردم و افزایش آگاهی آن‌ها در مورد کیفیت آب.

این اقدامات می‌توانند به بهبود کیفیت آب چشمه‌های سنندج کمک کرده و از سلامت شهروندان محافظت نمایند. انجام

Bouderbala, A., & Gharbi, B. Y., 2017. Hydrogeochemical characterization and groundwater quality assessment in the intensive agricultural zone of the Upper Cheliff plain, Algeria. *Environmental Earth Sciences*, 76, 1-17.

Ebrahimi Mohammadi, Sh., 2018. Assessment of hydrochemical characteristics and water quality of springs and wells in Zarivar Lake zone. *Journal of Ecohydrology*, 4(4), 1049-1060. (In Persian)

Fetter, C. W., 1988. *Applied Hydrogeology*. Mc Milian publishing Company. U.S.A. 592 p.

Ghanem, M., Ahmad, W., Keilani, Y., Sawaftah, F., Schelter, L., & Schuettrumpf, H., 2021. Spring water quality in the central West Bank, Palestine. *Journal of Asian Earth Sciences*: X, 5, 100052.

Habibinia, H., Kord, M., Taheri, K., 2021. Effect of geological formations on the quality and geochemical characteristics of groundwater Shiyan plain aquifer, Kermanshah. *Hydrogeology*, 6(1), 114-125. (In Persian)

Hounslow, A.W., 2018. *Water quality data: Analysis and interpretation*.

Institute of Standard and Industrial Research of Iran (ISIRI), 1997. *Characteristics of Drinking Water*. Standard No. 1053. The 4th and 5th editions, Commission of the standard and drink water characteristics. (In Persian)

Jafari, N., Hafezparast, M., Farhadi, B., 2021. Qualitative evaluation of water resources for drinking and agricultural uses (Case study: Gamasiab catchment, Kermanshah province). *Journal of Environmental Sciences Studies*, 6(2), 3525-3532. (In Persian)

Jalali, M., Jalali, M., 2016. Geochemistry and background concentration of major ions in spring waters in a high-mountain area of the Hamedan (Iran). *J. Geochemical Explor.*, 165, 49-61.

Kalantari, N., Zarvash, N., Alijani, F., Daneshian, H., Bashti, M., 2024. Investigating the quality of groundwater resources with emphasis on the origin and determining the nitrate pollution index using hydrochemical methods and multivariate statistical techniques in the southern part of Behbahan aquifer in Khuzestan province. *Hydrogeology*, 9(1), 40-56. (In Persian)

Kiyani, V., Esmaili, A., Alijani, F., Kiani, S., 2021. Hydrogeochemistry and Isotopic Investigation of Barudab and Malusan springs of Nahavand area output from Carboniferous-Permian limestones (Introduce

کلانتری، ن.، زروش، ن.، علیجانی، ف.، دانشیان، ح. و باشتی، م.، ۱۴۰۳. استفاده از روش‌های هیدروشیمیایی و تکنیک‌های آماری چند متغیره در بخش جنوبی آبخوان بهبهان استان خوزستان. *هیدروژئولوژی*، سال نهم، شماره ۱، ۴۰-۵۶.

کیانی، و.، اسماعیلی، ع.، علیجانی، ف. و کیانی، س.، ۱۴۰۰. هیدروژئوشیمی و ایزوتوپی چشمه‌های ملوسان و باروداب (شهرستان نهاوند) خروجی از آهکهای کربونيفر-پرمین (معرف قدیمترین مخازن کارستی ناحیه سندج-سیرجان در ایران). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۷(۲): ۸۲-۹۹.

محمدی، ه.، کلانتری، ن.، علیجانی، ف. و محرابی‌نژاد، ع.، ۱۴۰۳. فرایندهای هیدروشیمی در آبخوان‌های بهبهان، رامهرمز و زیدون استان خوزستان با استفاده از نمودارهای ترکیبی و ایزوتوپی. *هیدروژئولوژی*، سال نهم، شماره ۲، ۱۵-۲۹.

مظفری، م.، تاکی، س. و آیتی، ف.، ۱۴۰۰. بررسی کیفیت چشمه‌های حوالی صومعه‌سرا (غرب شهرستان رشت) و تأثیر احتمالی واحدهای زمین‌شناسی بر آنها. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۶(۳): ۴۰۱۳-۴۰۲۲.

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۸. استاندارد ۱۰۵۳، آب‌آشامیدنی-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی. تجدید نظر پنجم. ۱۸.

Ahmadi, M., Kamangar, M., 2023. Statistical analysis and forecasting monthly temperature of Sanandaj synoptic station with the application of SARIMA model. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(1), 1-13. (In Persian)

Aksever, F., 2019. Hydrogeochemical characterization and water quality assessment of springs in the Emirdağ (Afyonkarahisar) basin, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(24), 780.

Asghari-Moghaddam, A., 2010. *Principles of Hydrogeology*. First Edition, Tabriz University Publications, 349 p. (In Persian)

Barakat, A., Meddah, R., Afdali, M., & Touhami, F., 2018. Physicochemical and microbial assessment of spring water quality for drinking supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/b/c*, 104, 39-46.

- Teimouri, M., 2021. Assessing the impact of land use and geology on groundwater quality using multivariate statistical models and geostatistical analyses (Case Study: Part of the Hable-Rood River Basin). *Hydrogeomorphology*, 7(25), 19-37. (In Persian)
- White, W.B., 2010. Springwater geochemistry. In: *Groundwater Hydrology of Springs*.
- Wilcox, L.V., Durum, W.H., 1967. Quality of irrigation water. *Irrig. Agric. lands*, 11, 104–122.
- ancients' host rocks in Sanandaj-Sirjan zone in Iran). *Iran-Water Resources Research*, 17(2), 82-99. (In Persian)
- Malki, M., Bouchaou, L., Hirich, A., A. Brahim, Y., Choukr-Allah, R., 2017. Impact of agricultural practices on groundwater quality in intensive irrigated area of Chtouka-Massa, Morocco. *Sci. Total Environ.*, 574, 760–770.
- Mohammadi, H., Kalantari, N., Alijani, F., Mehrabinejd, A., 2024. Hydrochemical Processes in the Aquifers of Behbahan, Ramhormoz and Zeidon in Khuzestan Province Using Combined and Isotopic Diagrams. *Hydrogeology*, 9(2), 15-29. (In Persian)
- Mozafari, M., Taki, S., Ayati, F., 2021. Investigating the quality of springs near Soomehsara (west of Rasht city) and the possible impact of geological units on them. *Journal of Environmental Sciences Studies*, 6(3), 4013-4022. (In Persian)
- Mazor, E., 1991. Applied chemical and isotopic groundwater hydrology. *Appl. Chem. Isot. Groundw. Hydrol.*
- Mishra, A. K., & Singh, V. P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Niu, B., Wang, H., Loáiciga, H.A., Hong, S., Shao, W., 2017. Temporal variations of groundwater quality in the Western Jiangnan Plain, China. *Sci. Total Environ.*, 578, 542–550.
- Sheikh Eslami, A., Arman, M. A., Khaksar, H., 2011. A Comparative Study of Materials Used for Road De-icing in Winter and Proposed Suitable Materials for Iranian Roads. The Sixth National Civil Engineering Congress, May 6-7, Saman University, Semnan, Iran. (In Persian)
- Talebi, B., Sajjadi, N., Sharmad, T., 2017. Evaluation of Drinking and Agricultural Water Quality in the North of Qazvin Plain's Springs. *Journal of Marine Science and Technology Research*, 12(2), 1-16. (In Persian)
- Tallaksen, L.M., van Lanen, H.A.J., 2023. *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*, Second Edition. 684 p.
- Taloor, A. K., Pir, R. A., Adimalla, N., Ali, S., Manhas, D. S., Roy, S., & Singh, A. K., 2020. Spring water quality and discharge assessment in the Basantar watershed of Jammu Himalaya using geographic information system (GIS) and water quality Index (WQI). *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100364.