



ارزیابی کیفی آب سطحی و زیرزمینی حوضه رودخانه خررود (جنوب استان قزوین)

سعید خدابخش^{۱*}، شیما کبیری^۲، مینا افشارنیا^۳

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۲- کارشناس ارشد مهندسی سازه‌های آبی، شرکت آب منطقه‌ای قزوین، قزوین
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
* نویسنده مسئول: skhodabakhsh@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۲۲

چکیده

ارزیابی کیفیت آب بر مبنای مجموعه‌ای از شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و رادیواکتیو انجام می‌گیرد و اهمیت زیادی برای مصارف انسانی آن دارد. یکی از شاخص‌های کیفی شیمیایی آب، شوری (غلظت کل نمک‌های محلول در آب) است. عامل شور کننده آب ممکن است منشأ طبیعی یا انسان‌زاد داشته باشد. یکی از عوامل شوری منابع آب با منشأ طبیعی، وجود لایه‌های تبخیری در حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها است. این پژوهش با هدف بررسی عوامل زمین‌شناسی مؤثر در شوری منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه رودخانه خررود انجام شده است. مساحت کل این حوضه ۵۵۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که ۴۱۳۰ کیلومتر آن در استان قزوین واقع شده است. تراز این حوضه بین ۱۲۰۰-۱۶۸۰ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد و در زون ساختاری ایران مرکزی قرار گرفته است. بررسی‌های میدانی و آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی (کیفی) بر روی بازه‌ی باختری این حوضه (از اولین سرشاخه رودخانه در استان زنجان تا آبگرم) انجام شده است. نمونه‌های آب در دو دوره خشک و مرطوب سال آبی ۹۳-۹۲ برداشت شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند سنگ‌های میوسن با لیتولوژی گل سنگ با بین لایه‌های ما سه سنگ و لایه‌های تبخیری (هالیت و ژپس) بیش‌ترین اثر را در شوری منابع آب داشته‌اند. فراوان‌ترین کاتیون و آنیون در آب رودخانه، به ترتیب سدیم و کلر (تیپ کلروره-سدیک)، می‌باشند. میزان شوری آب رودخانه در بخش میانی محدوده مطالعه به شدت افزایش و سپس به تدریج به سوی خاور کاهش می‌یابد. میزان غلظت کل نمک‌های آب زیرزمینی نسبتاً ثابت است. این میزان (و نیز ضریب هدایت الکتریکی آب زیرزمینی) به تدریج از حاشیه‌ی شمال باختری به سوی جنوب خاوری حوضه کاهش می‌یابد. بیش‌ترین میزان نمک محلول آب رودخانه در ایستگاه‌های داخرجین، اروان و معدن نمک شوراب (به ترتیب، ۵۳، ۴۵ و ۴۷ گرم در لیتر) اندازه‌گیری شده است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، رودخانه خررود، شوری، کیفیت آب.

مقدمه

رودخانه‌ها از دیدگاه‌های گوناگونی مانند رسوب‌شناسی، مدیریت منابع آب، کیفیت آب و مسائل زیست محیطی مورد توجه پژوهشگران هستند. وجود اقلیم خشک و نیمه خشک در پهنه‌ی وسیعی از کشور ما، کاهش تأمین آب سفره‌های آب زیرزمینی (پری و همکاران، ۲۰۱۱) و افزایش تقاضا برای مصرف آب در کاربری‌های گوناگون موجب می‌گردد که وضعیت و کیفیت منابع آب بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد (حاج علیلو

و خالقی، ۲۰۰۹، سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۲). کیفیت آب رودخانه در تعیین کاربرد و یا حتی محدود کردن مصرف آن یا منابع آب زیرزمینی نیز نقش مهمی دارد. مهم‌ترین عوامل مؤثر در کیفیت آب رودخانه‌ها عبارت‌اند از: جنس سازندهای حوضه، رژیم آبدهی رودخانه و نقش آب‌های زیرزمینی در تأمین آب رودخانه، نحوه‌ی استفاده از رودخانه و کمیت و کیفیت آب برگشتی و نیز نقش انسان. آب به دلیل دارا بودن قابلیت انحلال بالا، کیفیت آن به سرعت تحت تأثیر موادی که در مسیر آن (اعم از سطحی و یا زیرزمینی) واقع می‌شوند قرار می‌گیرد (اسمول، ۲۰۰۸). این فرایند موجب شوری آب می‌شود. منشأ شوری آب ممکن است اولیه (عامل طبیعی مانند هوازدگی و انحلال لایه‌های رخنمون یافته زمین) یا ثانویه (با منشأ انسان‌زاد مانند کشاورزی غیراصولی) باشد (کنفورا و همکاران، ۲۰۱۵، سایت دولتی استرالیا، ۲۰۱۹). بر طرف کردن اثر موادی که افت کیفی آب را موجب می‌گردند اغلب بسیار هزینه‌بر است و برای مقابله با آن راهکارهایی باید اندیشیده شود. مسائل پیش آمده در رابطه با شوری منابع آب موجب شده است که: (۱) مصرف آب برای کاربری‌های مختلف با محدودیت‌هایی مواجه شود (کفورد، ۱۹۹۸)، (۲) پایش کیفیت آب یکی از دغدغه‌های انسان برای بهره‌برداری اصولی از منابع آب تبدیل گردد (بوستانی و اسماعیلی، ۱۳۹۴). کیفیت آب بر مبنای شاخص‌های فیزیکی (مانند دما، کدورت، چگالی)، شیمیایی (مانند اسیدیت، اکسیژن محلول، شوری)، زیستی و رادیواکتیو تعیین می‌گردد (دیرسینگ، ۲۰۰۹). در صورتی که اولویت بررسی بر روی عوامل شور کننده منابع آب متمرکز شده باشد، همواره سازندهای دارای لایه‌های تبخیری (به دلیل انحلال‌پذیری زیاد) مورد توجه می‌باشند. حوضه آبریز شور (واقع در حوضه بزرگ دریاچه نمک) حدود ۷۳٪ از دشت قزوین را شامل می‌گردد و بخش قابل توجهی از آن را مارن های میوسن (با بین لایه‌های تبخیری) در بر گرفته است. مهم‌ترین رودخانه این حوضه رودخانه خررود است که کیفیت آب آن در برخی بازه‌ها مطلوب نیست (خدابخش و همکاران،

۱۳۹۵ الف و ب)؛ به نحوی که از نظر میزان شوری، آب‌های این حوضه از نوع کم شور تا بسیار شور هستند (طوس آب، ۱۳۸۷). با این وجود کمبود منابع آب در منطقه موجب شده است، آب این رودخانه و آب زیرزمینی حوضه‌ی آن برای کاربری‌های گوناگون از جمله از آب مصرفی شهر تاکستان در نظر گرفته شود (شرکت آب منطقه‌ای قزوین، ۱۳۹۵). با این وجود مسئله کمبود منابع آب و افزایش تقاضا در منطقه موجب شده است، آب این رودخانه و آب زیرزمینی حوضه‌ی آن برای کاربری‌های گوناگون از جمله از آب مصرفی شهر تاکستان در نظر گرفته شود (شرکت آب منطقه‌ای قزوین، ۱۳۹۵). از این رو، برای اولین بار در سطح منطقه‌ای، در این پژوهش شدت شوری منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه رودخانه خررود به صورت هم‌زمان (و نیز پیوسته با فواصل منظم) مورد ارزیابی دقیق قرار گرفته است. از جمله مطالعات انجام شده در زمینه کیفیت منابع آب زیرزمینی، می‌توان به کارهای حسن‌زاده و عباس‌نژاد (۱۳۹۷) و کریمی و همکاران (۱۳۹۶) اشاره نمود.

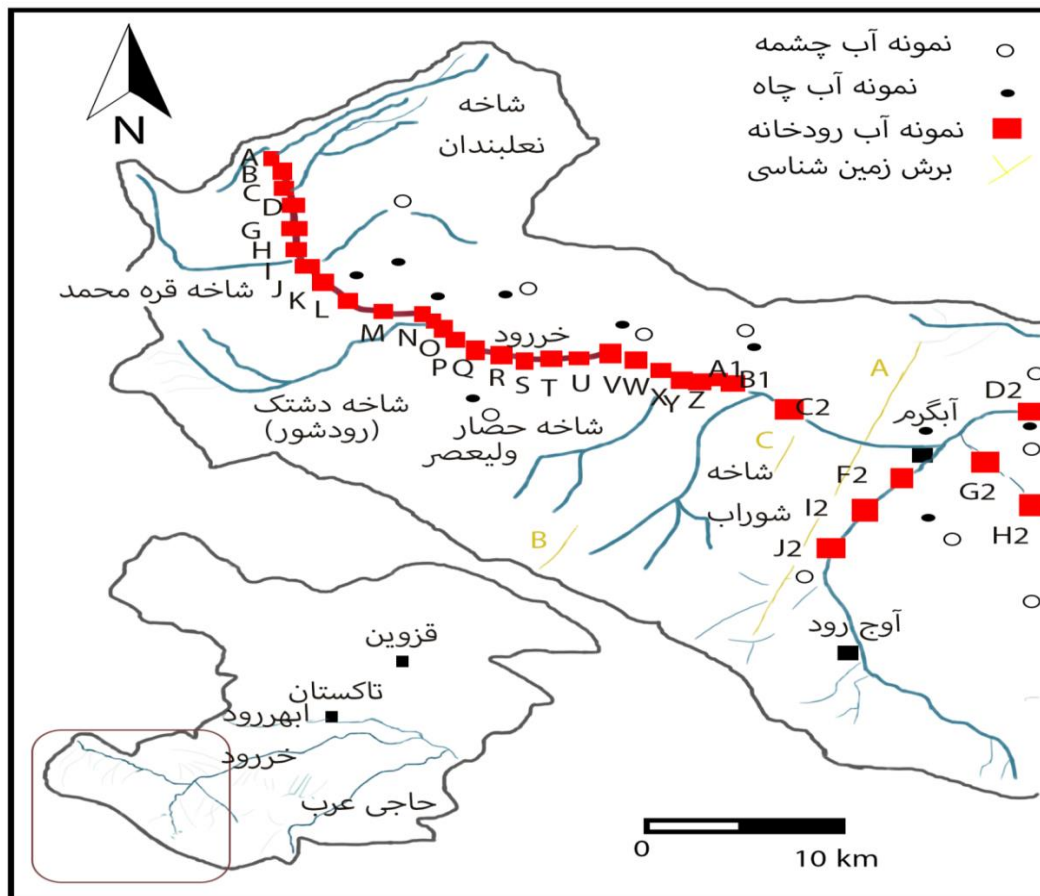
مواد و روش‌ها

حوضه رودخانه مطالعه از دیدگاه ترکیب واحدهای سنگی به دو بازه خاوری و باختری تقسیم می‌شود. بازه باختری از سرچشمه رودخانه در استان زنجان تا سد نهب و بازه خاوری از سد نهب به سوی خروجی حوضه از استان قزوین (رودخانه شور و دریاچه نمک) قرار دارد. در بازه باختری گسل خررود باعث تقسیم منطقه به دو نیمه شمالی و جنوبی شده است. در نیمه شمالی عمدتاً سنگ‌های با ترکیب کربناته (سازندهای لار، قم و سنگ‌آهک کرتاسه) گسترش دارند. در نیمه جنوبی سازند سرخ (سن=میوسن، شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل با بین لایه‌های هالیت و ژیبس) رخنمون شده‌اند (بلورچی، ۱۳۷۸، شکل‌های ۲ تا ۴).

رخنمون سازندهای دارای لایه‌های تبخیری همواره موجب افت کیفی منابع آب حوضه‌های آبریز می‌گردند. وجود لایه‌های

آب‌های عبوری از نمکزارها، آب شور رودها و رواناب‌هایی که از سازندهای دارای لایه‌های تبخیری (هالیت و ژپس) به این منطقه است (انصاری و مظفری زاده، ۱۳۹۲). افت کیفی منابع آب در اثر رسوبات نمک‌دار-گچ دار نئوژن از شرق ایران نیز گزارش شده است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۳). مارن‌های میوسن در بیش‌تر مناطق ایران مرکزی به دلیل داشتن لایه‌های تبخیری موجب کاهش کیفیت آب هستند (مهندسین مشاور رویان، ۱۳۷۲، طهماسبی، ۱۳۷۷، فیض‌نیا، ۱۳۸۱) به نحوی که در برخی مناطق ایران، بدون استفاده از دستگاه‌های آب شیرین‌کن، منابع آب برای تمام کاربری‌ها غیرقابل استفاده هستند (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

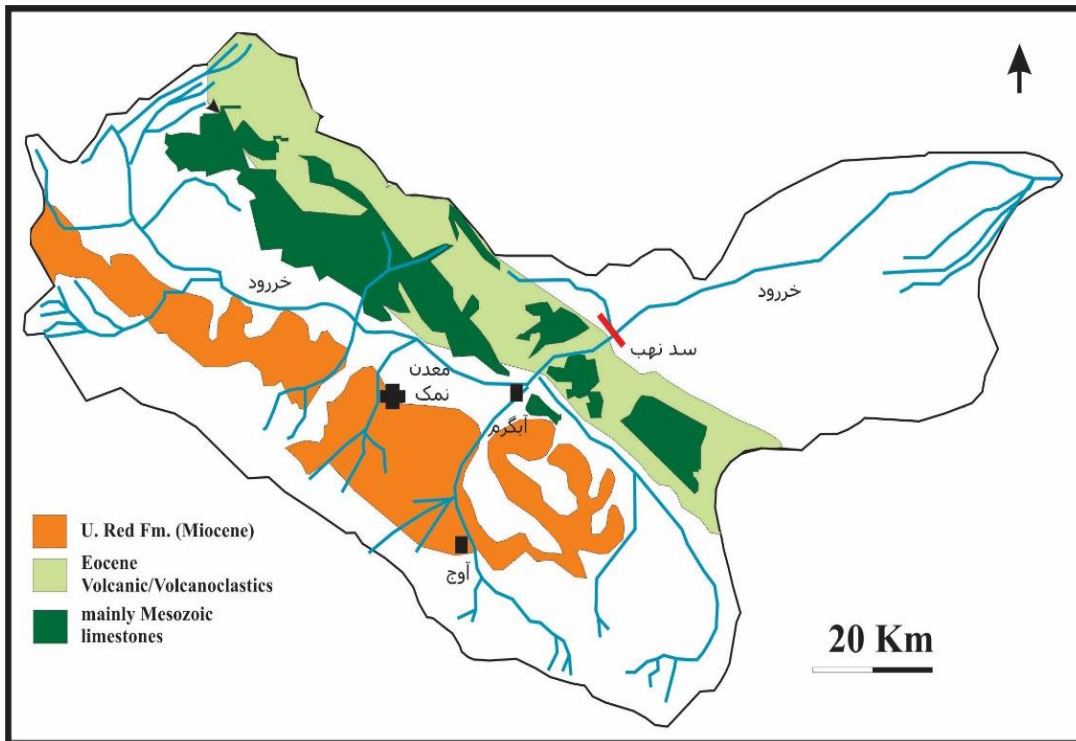
تبخیری در سنگ‌های مسیر سرشاخه‌های رودخانه‌های کشور در حوضه آبریز مرکزی ایران (فیض‌نیا، ۱۳۸۱؛ عبدی، ۱۳۸۶ و زمانی قره‌چمنی، ۱۳۸۹)، به عنوان یکی از عوامل طبیعی تخریب‌کننده کیفیت منابع آب پیوسته مطرح بوده است. مطالعات پیشین در حوضه آبریز دریاچه نمک نشان داد که واحدهای آبرفتی و ژپس دار با وجود گسترش کمتر از ۰.۲٪، سهم زیادی از تولید بار محلول در حوضه آبریز را دارند (حسین‌خانی و همکاران، ۱۳۹۰، سبحانی، ۱۳۷۸). نتایج بررسی دیگری که در رابطه با کیفیت منابع آب در دشت گله‌دار (استان فارس) انجام گرفت نشان می‌دهد که یکی از دلایل تخریب کیفیت و افزایش شوری آب‌های زیرزمینی ورود



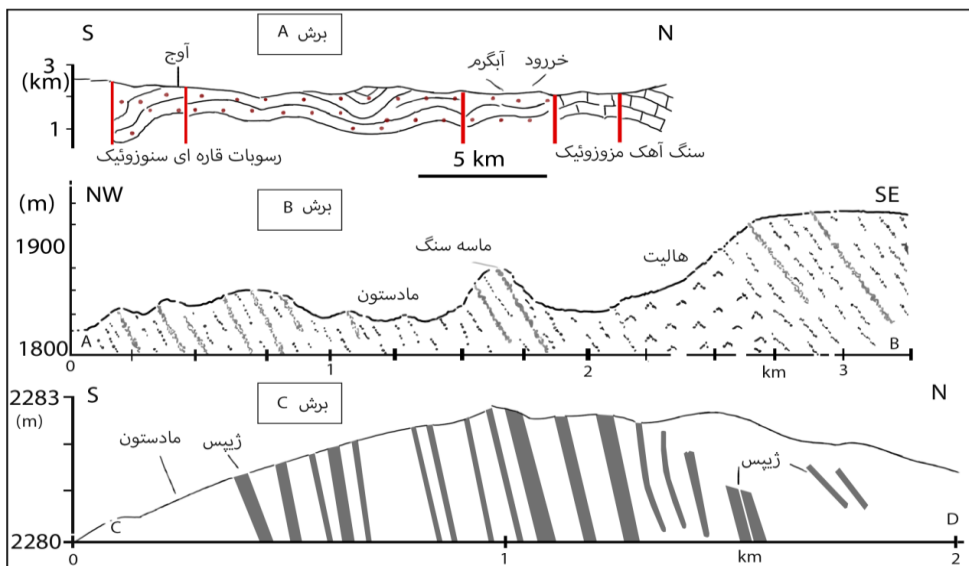
شکل ۱- موقعیت حوضه رودخانه خررود در استان قزوین، مکان نمونه‌های آب رودخانه، چاه‌ها و چشمه‌ها و موقعیت برش‌های زمین‌شناسی.



شکل ۲- تصاویر میدانی از برخی واحدهای سنگ‌چینه‌ای منطقه: بالا) معدن نمک شوراب، بین لایه ژپس در گل‌سنگ، سازند سرخ روئین، داخرجین، پایین) همبری گسله سازند لار (J1) و کنگلومرای کرتاسه (Kc)، اوغور، نگاه به شمال، تناوب مارن-آهک (الیگوسن)، شوراب، نگاه به جنوب



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی ساده شده حوضه آبریز خررود (گسل‌ها نشان داده نشده‌اند) با تغییرات عمده اقتباس از بلورچی، ۱۹۷۸، هوبر و افتخارنژاد، ۱۹۷۸، (ترسیم از خدابخش و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۴- برش‌های زمین‌شناسی منطقه: A= برش آوج-آبگرم (با تغییراتی پس از بلورچی، ۱۳۷۸)، B= برش معدن نمک، C= برش داخرجین.

یکی از شاخص‌های نشانگر شوری و کیفیت آب آشامیدن، غلظت کل مواد جامد محلول (TDS) است. غلظت زیاد TDS در آب موجب اثرات سوء فیزیولوژیکی و ایجاد طعم ناخوشایند در آب می‌شود. با افزایش میزان TDS ، احتمال وجود مقادیر زیاد مواد دیگری که باعث کاهش کیفیت آب می‌شوند بیشتر است (طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۲). غلظت کل مواد جامد محلول معیاری برای رده‌بندی کیفی آب (از نظر میزان نمک‌های محلول) نیز به شمار می‌رود. میانگین این شاخص برای آب رودخانه و چاه در منطقه مطالعه در نمونه‌های فروردین ماه (به ترتیب ۰/۷ و ۱/۲۵ گرم در لیتر) و در نمونه‌های شهریورماه (به ترتیب ۲/۵ و ۱/۵ گرم در لیتر) است. از این دیدگاه، تمام نمونه‌ها در رده کمی لب شور (شوری ۰/۵ تا ۳۰ گرم در لیتر) قرار می‌گیرند. نمونه‌های چشمه‌ها (با میانگین ۰/۳ گرم در لیتر) در رده آب شیرین (شوری کم‌تر از ۰/۵ گرم در لیتر) قرار می‌گیرند. در منطقه مطالعه، نوسانات شدیدی در TDS آب رودخانه خررود دیده شده که اغلب متأثر از ترکیب آب شاخه‌های فرعی رودخانه است (شکل ۵). این شاخص از ابتدای رودخانه تا ایستگاه O در بخش میانی بازه مطالعه شده افزایش می‌یابد (۴-۱۲ گرم در لیتر) و پس از آن روند کاهشی دارد. به نظر می‌رسد پیوستن شاخه

شوراب و احتمالاً آب پایه (از چشمه‌های نزدیک بستر رودخانه) در کاهش شوری پس از این ایستگاه مؤثر باشد. شوری آب چشمه‌های منطقه با توجه به منشأ آن‌ها (کارستی و غیر کارستی، غضنفری، ۱۳۹۵) متغیر است؛ شورترین چشمه‌ها (از نظر میزان کلراید، سولفات و بیکربنات) چشمه‌های اروان، آبگرم و لک هستند (شکل ۶). شوری آب زیرزمینی بسیار کم‌تر از آب رودخانه و تقریباً ثابت (کم‌تر از ۲ گرم در لیتر) است (شکل ۶). شوری کم‌تر آب زیرزمینی نسبت به آب رودخانه نشان می‌دهد: ۱- بخش قابل توجهی از آب زیرزمینی از منابع دیگر (=باران و برف) تأمین می‌شود و سهم رودخانه در تغذیه آب زیرزمینی کم‌تر است، ۲- ممکن است بخشی از نمک‌های آب رودخانه در حین نفوذ به درون زمین جذب کانی‌های رسی موجود در رسوبات (چو و همکاران، ۱۹۸۸) می‌شود. از اهداف مهمی که در مورد منابع آب مطرح است، مطالعه‌ی اختلاط آب‌های منابع مختلف، 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 از مسائل دیگر می‌باشد. نمودارهای مختلفی برای نشان دادن نتایج تجزیه شیمیایی آب پیشنهاد شده است. در اغلب این نمودارها، آب

زیرزمینی را محلولی شامل سه جزء کاتیونی: کلسیم، منیزیم و فلزات قلیایی (سدیم+پتاسیم) و سه جزء آنیونی: سولفات، کلرید و بی‌کربنات+ کربنات در نظر می‌گیرند (صداقت، ۱۳۸۷). یک روش تعیین منشأ منابع آب استفاده از نسبت یون‌های موجود در آن‌ها است. نسبت مقدار یون سدیم به یون کلسیم در تمام نمونه‌های آب رودخانه، چاه و چشمه (به جز دو نمونه از ۴۸ نمونه) بزرگ‌تر از یک است (نمایانگر آب‌های سدیک). نسبت مقدار یون سولفات به یون کلر در ۷ نمونه رودخانه (بیش‌تر در بازه شرقی محدود مطالعه) و بیش‌تر نمونه‌های چشمه نیمه جنوبی منطقه بزرگ‌تر از ۱ (نمایانگر اثر لایه‌های گچی-نمکی در حوضه آبریز منطقه) است. در نمودار تفکیکی گیبس (۱۹۷۰) می‌توان عامل شور کننده آب (تبخیر، بارش، لیتولوژی) را بر اساس نسبت عناصر و TDS شناسایی کرد. علاوه بر آن در این نمودار می‌توان تیپ آب تعداد زیادی نمونه را در یک دیاگرام نشان داد. این روش از نظر تعبیر و تفسیر نتایج تجزیه‌ی شیمیایی آب‌ها بسیار سودمند است. تیپ آب رودخانه و آب زیرزمینی منطقه در نمودار پایپر، در بیش‌تر مناطق سدیمی کلریدی است و از این نظر ترکیب آب زیرزمینی متأثر از آب رودخانه است. در برخی مناطق، تیپ آب با نزدیک شدن به بلندی‌های شمالی و خاور حوضه به تیپ بی‌کربناته نزدیک می‌شود. بیش‌ترین گسترش سازنده‌های با لیتولوژی کربناته در این ناحیه دیده می‌شود. از مجموع ۳۶ نمونه آب رودخانه، ۲۹ نمونه سدیم-کلروره، ۵ نمونه سدیم-بی‌کربناته و یک نمونه سدیم-سولفاته است. تیپ آب چشمه‌ها بسیار متغیر و بسیار وابسته به ترکیب سنگ منشأ است (جدول ۲ و شکل ۵). فرمول یونی آب رودخانه در بیش‌تر ایستگاه‌های شاخه اصلی رودخانه خررود به شرح زیر است: کلرید<بی‌کربنات<سولفات و سدیم<کلسیم (شکل ۷). در بازه میانی تغییر کمی در ترتیب آنیون‌ها (کلرید<سولفات<بی‌کربنات) وجود دارد. فرمول یونی آب زیرزمینی در بیش‌تر ایستگاه‌ها به شرح زیر است: کلرید<بی‌کربنات<سولفات و سدیم<کلسیم. در بازه میانی (احمدآباد) تغییر کمی در ترتیب

آنیون‌ها وجود دارد: بی‌کربنات<کلرید<سولفات. یون‌های سدیم، کلرید و سولفات نقش مهمی در افت کیفی منابع آب منطقه دارند. این یون‌ها بیش از ۹۰ درصد یون‌های محلول آب منطقه را تشکیل می‌دهند. میزان یون سولفات در ارزیابی کیفیت آب جهت مصارف شرب بسیار با اهمیت تلقی می‌شود. غلظت بیش از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر آن مزه تلخ در آب ایجاد می‌کند (کاندن و همکاران، ۱۹۹۳) و در غلظت‌های بالاتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در بدن سستی ایجاد می‌کند. میزان یون سولفات آب زیرزمینی منطقه کم‌تر از ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. میزان این یون در آب رودخانه در بخش مرکزی (نمونه‌های E تا S) بیشتر از ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر است (شکل ۸) و از این نظر کیفیت نامناسبی دارند. میانگین یون سولفات آب رودخانه ۹ برابر آب زیرزمینی و ۳ برابر آب چشمه‌های منطقه است. غلظت بالای کلر در آب، طعم نامطبوع و غلظت بالای یون سدیم مشکلات زیستی (مانند فشار خون) ایجاد می‌نماید (وزارت نیرو، ۱۳۶۷). یون سدیم به تنهایی حدود ۷۰٪ ترکیب یونی آب منطقه را تشکیل می‌دهد. میزان یون سدیم در بازه مرکزی رودخانه (نمونه‌های D تا P) زیاد (اغلب بیش از ۱۰ گرم در لیتر) است که به مراتب بیش از مقدار آن در سایر منابع آب منطقه است. میانگین یون سدیم آب رودخانه ۵۱ برابر آب زیرزمینی و ۹/۵ برابر آب چشمه‌های منطقه است. میزان این یون در بازه‌ی بزرگی از آب زیرزمینی منطقه بیش از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است (شکل ۸) و از این نظر کیفیت نامناسبی دارند. میزان یون سدیم در چشمه‌ها کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. مقادیر بالای یون بی‌کربنات موجب افزایش سختی آب می‌شود و نیز خطرات زیستی برای انسان به همراه دارد. میزان یون بی‌کربنات در آب زیرزمینی منطقه بیش از آب رودخانه است (به ترتیب ۳۰۰-۶۰۰ و ۱۰۰-۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، شکل ۷)؛ به طوری که میانگین مجموع یون‌های کربنات و بی‌کربنات آب رودخانه ۰/۳ برابر آب چاه و ۰/۴۳ برابر آب چشمه‌ها است. مقدار این یون در برخی چشمه‌ها تا ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز می‌رسد (شکل ۶). یکی از راه‌های نمایش

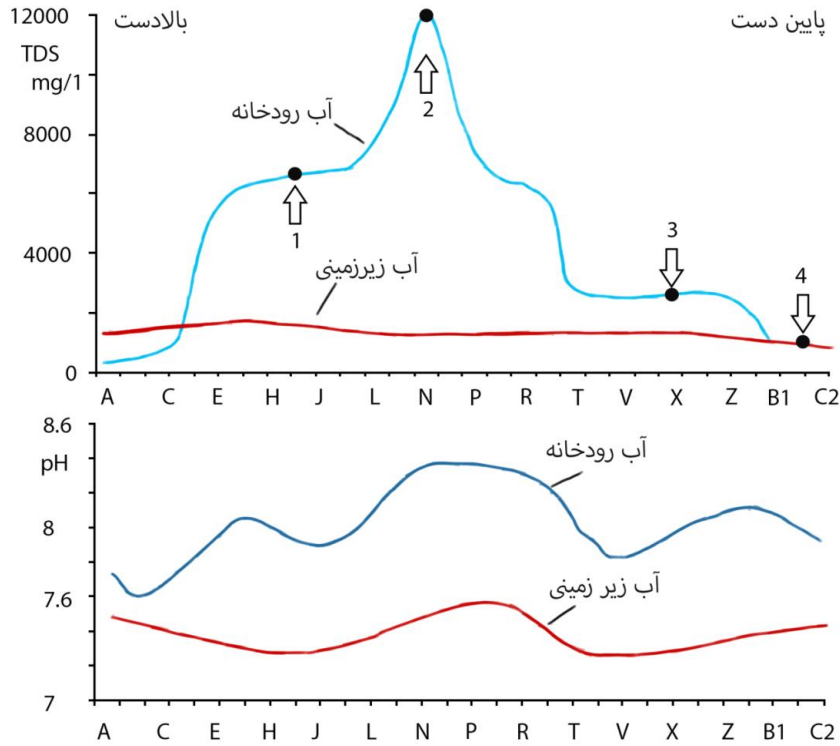
تجزیه‌ی شیمیایی آب‌ها، تهیه‌ی نقشه‌های مختلف شیمی آب، مانند نقشه هم‌غلظت، نقشه‌ی هدایت الکتریکی ویژه و نقشه‌ی طبقه‌بندی آب است. این نقشه‌ها را معمولاً در فواصل زمانی معین تهیه می‌کنند تا تغییرات کیفیت آب را در طول زمان نشان دهد. بررسی نقشه‌های تیپ آب زیرزمینی دشت قزوین (در بازه زمانی ۱۳۴۸ تا ۱۳۶۸) نشان می‌دهد محدوده بی‌کربناته (که عمدتاً در حاشیه ارتفاعات است) تغییر چندانی نداشته ولی گستره‌ی پهنه کلروره و سولفات‌ها افزایش داشته است (طوس آب، ۱۳۸۷). میزان شوری آب زیرزمینی در دشت قزوین از باختر به سوی خاور افزایش می‌یابد. بررسی نقشه‌های هم‌غلظت در این پژوهش نشان می‌دهد روندهای فرعی دیگری در مقیاس کوچک‌تر در ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی قابل ردیابی است. این نقشه‌ها با پراکندگی سازند سرخ بالایی (میوسن) در منطقه مطابقت داده شدند و مشخص شد موقعیت مکانی محدوده‌های با شوری بالا ارتباط مستقیمی با رخمون این سازند دارد. این نقشه‌ها نشان می‌دهند بیشترین میزان یون کلر، سولفات و بیکربنات، در چاه‌های شمال باختر و مرکز منطقه است و به تدریج به سوی جنوب خاوری حوضه کاهش می‌یابد (شکل ۹).

جدول ۱- مقایسه اسیدبته منابع آب حوضه رودخانه خررود ($n=10$ = تعداد نمونه)

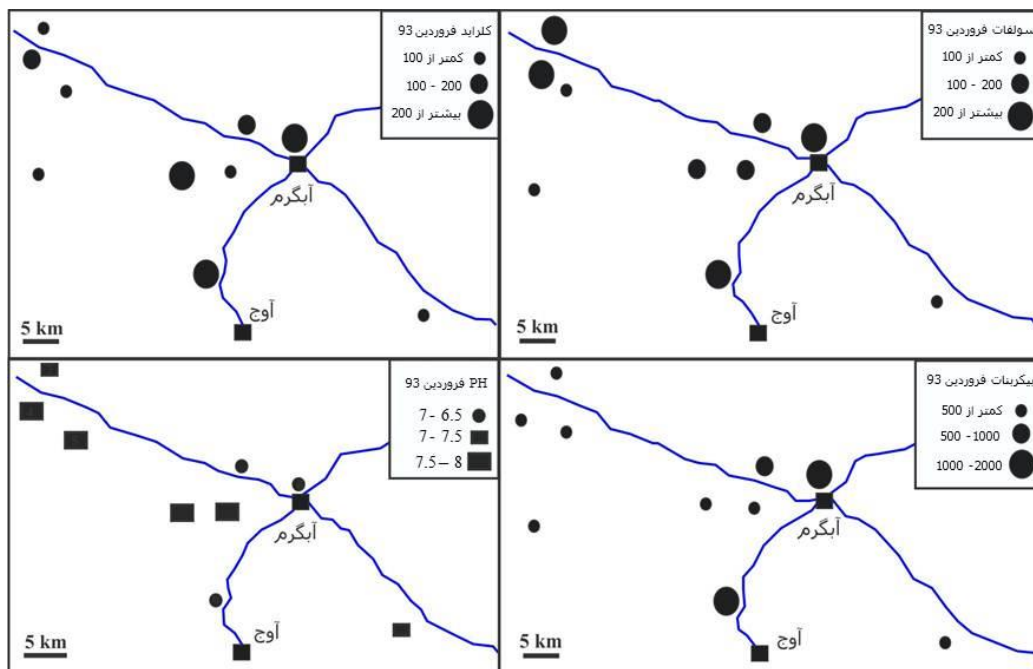
چشمه ($n=10$)	چاه ($n=10$)	رودخانه ($n=37$)	
۶/۷۹	۷/۰۵	۷/۵۲	کمینه
۸/۰۰	۸/۶۵	۸/۵۹	بیشینه
۷/۴۷	۷/۴۱	۸/۰۳	میانگین

جدول ۲- تیپ آب (فرمول یونی) در نمونه‌های آب رودخانه، چاه و چشمه حوضه خررود

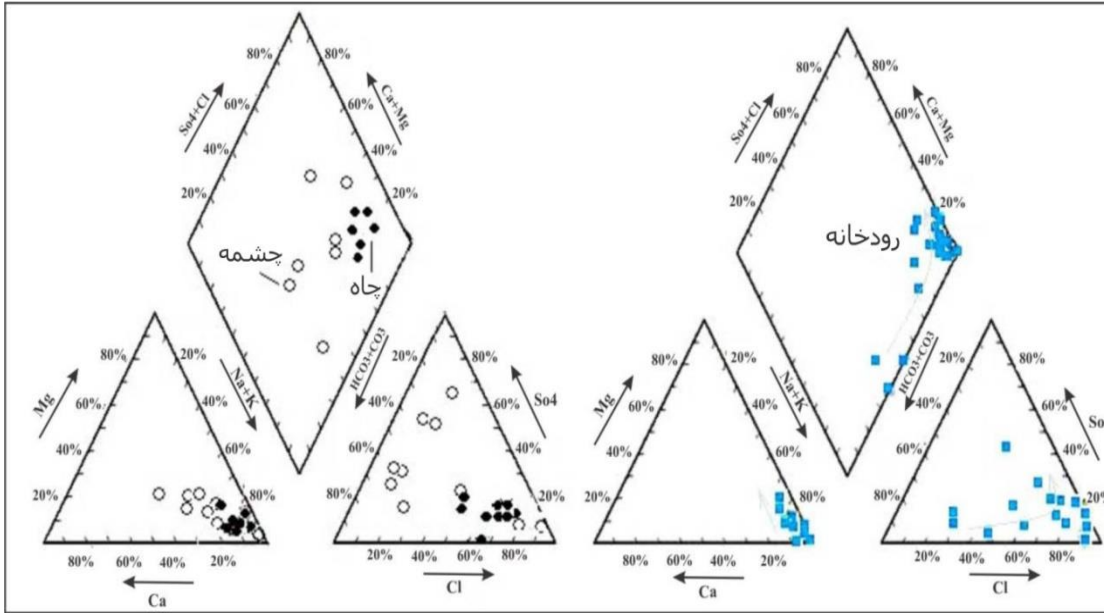
نام نمونه	فرمول یونی (تیپ آب)	نام نمونه	فرمول یونی (تیپ آب)	نام نمونه	فرمول یونی (تیپ آب)
A	Na-HCO ₃	U	Na-Cl	چشمه حصار ولیعصر	Na-HCO ₃
B	Na-HCO ₃	V	Na-Cl	چشمه اوغور	Na-HCO ₃
C	Na-HCO ₃	W	Na-Cl	چشمه خاتون بلاغی	Ca-HCO ₃
D	Na-Cl	X	Na-Cl	چشمه علی	Na-HCO ₃
E	Na-Cl	Y	Na-Cl	چشمه چنگوره	Ca-HCO ₃
G	Na-Cl	Z	Na-Cl	چشمه آبگرم	Na-Cl
H	Na-Cl	A1	Na-Cl	چشمه اروان	Na-Cl
I	Na-Cl	B1	Na-SO ₄	چشمه آروچان	Ca-HCO ₃
J	Na-Cl	B2	Na-Cl	چشمه قمشلو	Na-HCO ₃
K	Na-Cl	C2	Na-Cl	چشمه داخرجین	Ca-HCO ₃
L	Na-Cl	D2	Na-Cl	چاه قمشلو	Na-Cl
M	Na-Cl	E2	Na-SO ₄	چاه طبشکین	Na-Cl
N	Na-Cl	F2	Na-HCO ₃	چاه احمدآباد	Na-Cl
O	Na-cl	G2	Na-Cl	چاه عباس آباد	Na-HCO ₃
P	Na-Cl	H2	Na-HCO ₃	چاه آسیان	Na-HCO ₃
Q	Na-Cl	I2	Na-Cl	چاه آبگرم	Na-Cl
R	Na-Cl	J2	Na-Cl	چاه محمودآباد	Na-Cl
S	Na-Cl			چاه اوغور	Na-Cl
T	Na-Cl			چاه لک	Na-Cl



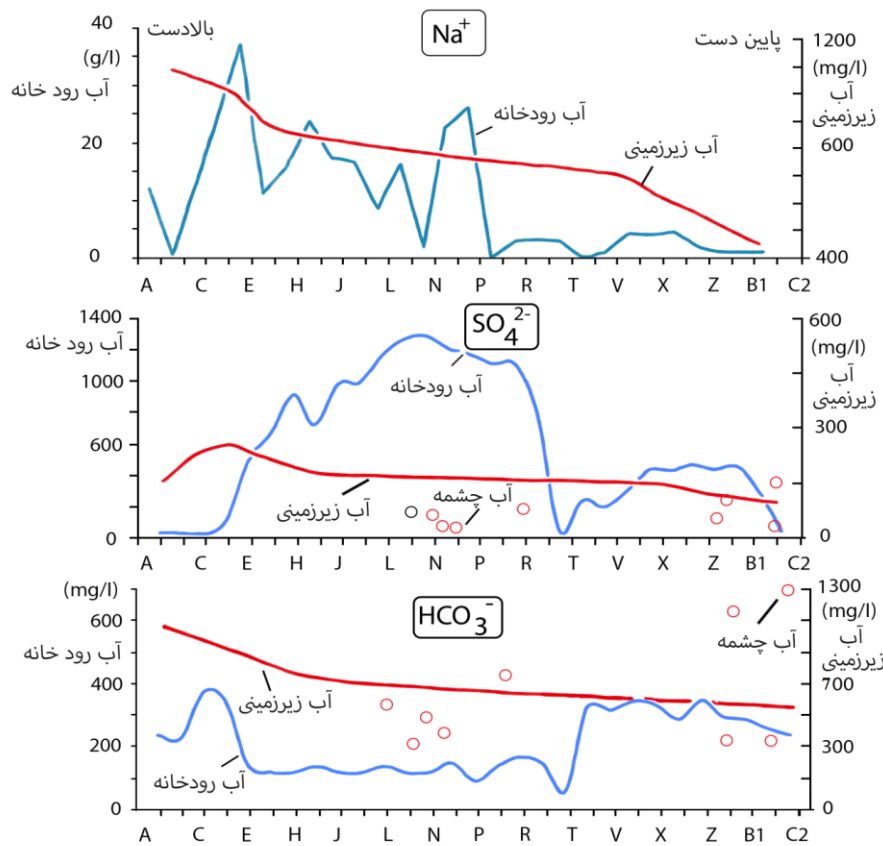
شکل ۵- تغییرات TDS و pH آب رودخانه و آب زیرزمینی (چاه) به سوی پایین دست رودخانه خررود (شماره‌های ۱، ۲، ۳ و ۴= به ترتیب محل پیوستن شاخه‌های قره محمد، دشتک (رودشور)، حصار ولیعصر و شوراب به رودخانه خررود است، محل شاخه‌ها در شکل ۱).



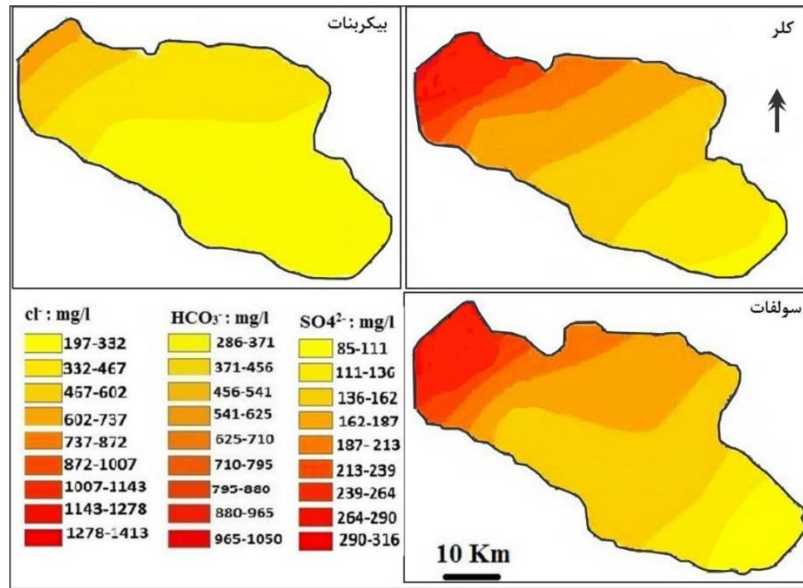
شکل ۶- نقشه‌های مقایسه کلراید، سولفات، بیکربنات و اسیدیته چشمه‌های حوضه رودخانه خررود، سال آبی ۹۴-۹۳.



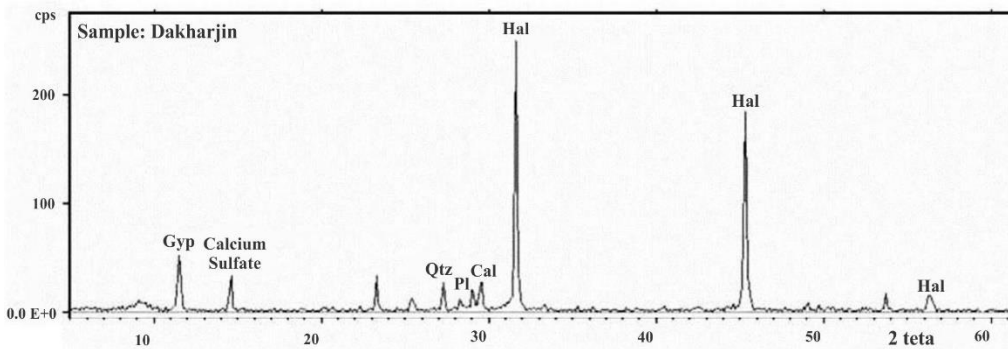
شکل ۷- مکان نمونه‌های آب رودخانه، چاه و چشمه‌ها در نمودار پایپر.



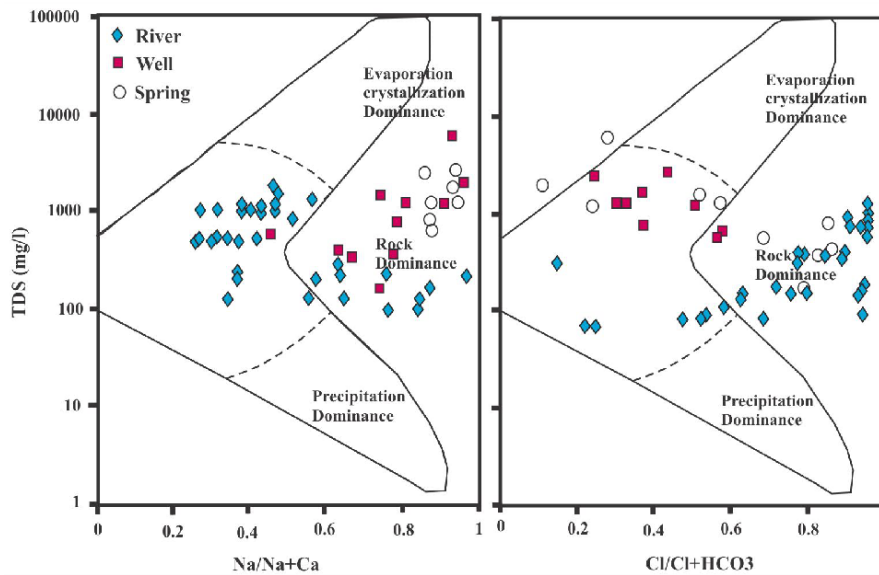
شکل ۸- تغییرات مقدار یون‌های سدیم، سولفات و بی‌کربنات آب رودخانه، چاه و چشمه‌ها به سوی پایین دست حوضه رودخانه خروود. درج نکردن مقادیر سدیم آب چشمه‌ها به دلیل آن است که در تمام آن‌ها این میزان کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است.



شکل ۹- نقشه هم غلظت کلر، بیکربنات و سولفات آب زیرزمینی حوضه رودخانه خررود



شکل ۱۰- نمودار پراش اشعه ایکس از نمک نه نشسته در شورابه‌های چشمه داخرجین



شکل ۱۱- مکان نمونه‌های مطالعه در نمودار تفکیکی گیبس (۱۹۷۰)

نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور ارزیابی میزان و منشأ شوری منابع آب حوضه رودخانه خررود انجام گرفته است. اثر سازندهای شور کننده در افت کیفی منابع آب حوضه رودخانه مورد مطالعه (رودخانه خررود) قابل مشاهده است به نحوی که به جز چشمه‌ها، بیشتر نمونه‌ها در رده آب‌های لب شور قرار می‌گیرند. تقریباً تمام نمونه‌ها کمی قلیایی هستند. کیفیت آب زیرزمینی در محدوده‌ی حوضه‌ی این رودخانه نیز به شدت تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و آب ورودی از رودخانه‌های با آب شور است. باوجود تنوع لیتولوژیکی زیاد در محدوده این رودخانه به نظرمی رسد سنگ‌های میوسن با بین لایه‌های تبخیری (نمک‌های کلریدی و سولفات) بیش‌ترین تأثیر را بر کاهش کیفیت منابع آب منطقه داشته‌اند. وجود کانی‌های هالیت، ژپس و کلسیت در آب‌های منطقه دال بر این موضوع است (شکل ۱۰). علاوه بر آن، فرایند تبخیر سطحی نیز در شوری منابع آب منطقه مطالعه، مؤثر است. مکان نمونه‌ها در محدوده میانی نمودار گیبس (۱۹۷۰) بیانگر آن است واکنش آب با سنگ‌های حوضه مهم‌ترین عامل مؤثر در کیفیت آب منطقه است (شکل ۱۱) و تبخیر نقش کم‌تری در این فرایند ایفا می‌کند. بهبود کیفیت آب زیرزمینی منطقه به سوی جنوب خاور احتمالاً به دلیل وجود آب پایه و پیوستن شاخه فرعی شوراب به رودخانه خررود است. با وجود این که تیپ آب رودخانه و آب زیرزمینی در منطقه مطالعه مشابه است (سدیمی-کلریدی)، ولی میزان نمک‌های آب رودخانه (و نیز نوسانات آن) بسیار بیش از آب زیرزمینی است.

تشکر و قدردانی

به این وسیله از مدیر عامل محترم شرکت آب منطقه‌ای قزوین و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بوعلی-سینا به خاطر حمایت مالی در حین انجام این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

- اسکوگ، د. ا.، وست، د. م.، هولار، ج.، کروس، س. ر. ترجمه سلاجقه، ع.، توسلی، و.، خلیلی، ه. ۱۳۸۸. مبانی شیمی تجزیه، مرکز نشر دانشگاهی، ۶۱۳ ص.
- اصغری‌مقدم، ا.، جوانمرد، ز.، ودیعتی، م.، نجیب، م. ۱۳۹۴. ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مهربان با استفاده از روش‌های *FGQI* و *GQI*. نشریه هیدروژئومورفولوژی، جلد ۲، صفحات ۷۹-۹۸.
- انصاری، ع.، مظفری‌زاده، ج. ۱۳۹۲. بررسی برهم‌کنش هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت گله‌دار و سازندهای زمین‌شناسی، مجله ژئوشیمی، جلد ۳، شماره ۲، صفحات ۱۶۱-۱۵۳.
- بوستانی، آ.، اسماعیلی، ک. ۱۳۹۴. مهندسی رودخانه از گذشته تا آینده (بررسی رویکردها و چشم‌انداز) آب و توسعه پایدار، ۳، صفحات ۶۷-۷۲.
- حسن‌زاده، ب.، عباس‌نژاد، ا. ۱۳۹۷. فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی بخش میانی دشت نوق (غرب استان کرمان)، مجله هیدروژئولوژی، دوره ۳، شماره ۲، صفحات ۴۶-۵۸.
- حسین‌خانی، ح.، موسوی، م. ر.، نجیب، م.، حسینی‌مرزی، م. ۱۳۹۰. هیدروژئوشیمی منابع آب سطحی حوضه‌ی آبریز سد شهریار، میانه (آذربایجان شرقی)، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی، جلد ۷، شماره ۳، صفحات ۲۱۲-۱۹۹.
- خدابخش، س.، رفیعی، ب.، افشارنیا، م.، کبیری، ش.، و اخلاص‌مند، ر. ۱۳۹۵. شناسایی خاستگاه مواد محلول آب رودخانه خررود (جنوب استان قزوین) با روش‌های آماری، فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۲، جلد ۴، صفحات ۳۶۷-۳۷۸.
- خدابخش، س.، صحرارو، ن. ۱۳۹۲. آزمایش‌های رسوب‌شناسی، انتشارات دانشگاه بوعلی‌سینا، ۱۱۹ ص.
- خدابخش، س.، رفیعی، ب.، افشارنیا، م. ۱۳۹۵. الف. بررسی عوامل زمین‌شناسی مؤثر در شوری منابع آب حوضه آبریز خررود (جنوب دشت قزوین) طرح پژوهشی مشترک بین شرکت آب منطقه‌ای قزوین و دانشگاه بوعلی‌سینا (کد پروژه: GZR۹۲۱۰۵).
- زمانی قره‌چمنی، ب. ۱۳۸۹. بررسی عوامل شورکننده دریاچه سد شهریار، طرح پژوهشی، شرکت مه‌باب قدس.
- سلیمانی، س.، محمودی‌قزایی، م. ح.، قاسم‌زاده، ف.، سیاره، ع. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات کیفی منابع آب باختر کوه‌سرخ با استفاده از شاخص کیفی *GQI* در محیط *GIS*. مجله علوم زمین، دوره ۲۳، شماره ۸۹، صفحات ۱۸۲-۱۷۵.
- شرکت آب منطقه‌ای قزوین، ۱۳۹۵. وبگاه: www.qzrw.ir.

- مهندسين مشاور روپان. ۱۳۷۲. مطالعات طرح جامع احيا و توسعه کشاورزی حوضه آبریز مرکزی و همدان، بخش چهارم، زمین-شناسی عمومی، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی. وزارت نیرو. ۱۳۶۷. معیارهای کیفی آب آشامیدنی، طرح تهیه استانداردهای صنعت آب کشور، ۱۸-۱.
- Bolourchi, M.H. 1978. Geological map of Avaj, scale: 1/100000, Geological and Mineral Survey of Iran, sheet: 5861.
- Canfora, L., Benedetti, A., Francaviglia, R. 2015. Land use, salinity and water quality, the case study of the coastal system in central Italy, EQA – Environmental quality, 18: 29-42.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. 1988. Applied hydrology, McGraw Hill.
- Condon, M.R., Traver, R.G., Fergusson, W.B., Chadderton, R.A. 1993. Parameter Estimation for a Groundwater Model, Water Resource Bulletin, 29: 36-41.
- Diersing, N. 2009. Water quality: frequently asked questions. Florida Brooks National Marine Sanctuary, 2p.
- Gibbs, R.J. 1970. Mechanisms controlling world water geochemistry, Science, 170: 1088-1090.
- Hajalilou, B., and Khaleghi, F. 2009. Investigation of hydrogeochemical factors and groundwater quality assessment in Marand Municipality, northwest of Iran: A multivariate statistical approach, J. of food and Agriculture & Environment, 7 (3&4): 930-937.
- Huber, H., Eftekhari-Nejad, J. 1978. Geological map of Iran, Sheet No. 1, NW Iran, National Iranian Oil Company.
- Kefford, B.J. 1998. Is salinity the only water quality parameter affected when saline water is desposed in rivers? Int. J. of Salt Lake Res, 7: 285-300.
- Parry, M.A.J., Reynolds, M., Salvucci, M.E., Rains, C.H., Andralojc, P.J., Zhu, X.G., Price, G.D. 2011. Condon efficiency, J. of Botany, 62: 453-467.
- Smol, J. P. 2008. Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective, 2nd ed., Blackwell Publishing.
- صداقت، م. ۱۳۸۷. زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)، دانشگاه پیام نور، ۲۸۷ص.
- طباطبایی، ح.، توسلی، م.، اسلامیان، س.، احمدزاده، ق. ۱۳۸۲. مطالعه میزان آلاینده‌های آب زیرزمینی شهر اصفهان و ارزیابی آن با تأکید بر جنبه آب شرب، مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۹، صفحات ۷۹-۹۲.
- طوس آب. ۱۳۸۷. مطالعات به تعادل رساندن بیلان و تعیین عمق سنگ کف شکنی چاه‌های دشت قزوین، ج ۴. هیدروژئوشیمی، کارفرما: شرکت آب منطقه‌ای قزوین.
- طهماسبی، ا. ۱۳۷۷. بررسی عوامل مؤثر در شور شدن آب و خاک و گسترش بیابان در حوضه رودخانه شور اشتهارد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۶۴ص.
- عبدی، پ. ۱۳۸۶. بررسی کیفیت آب رودخانه قزل اوزن و عوامل زمین‌شناسی مؤثر در آن در محدوده استان زنجان، سومین همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط‌زیست، اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، ۱۵ اسفند.
- غضنفری، پ.، بختیاری، م.، تاج‌آبادی، م. ۱۳۹۵. زمین‌دیس‌ها و چشمه‌های کارستی دره الموت، شمال قزوین، فصلنامه کوآترنری ایران، جلد ۴، صفحات ۳۵۳-۳۶۶.
- فریدگیلو، ب.، نجفی نژاد، ع.، مغانی بیل‌سوار، و.، غیائی، ا. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه زرین گل استان گلستان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۲۰ (۱)، صفحات ۹۶-۷۷.
- فیض‌نیا، س. ۱۳۸۱. بررسی علل زمین‌شناسی بیابانی شدن غرب حوزه‌ی مرکزی، انتشارات تحقیقات جنگل و مراتع، ۲۹۶ص.
- قدیمی‌عروس‌محل، ب.، امین‌سیحانی، ا. ۱۳۷۸. بررسی رسوب‌زایی زون‌ها و دوران‌های زمین‌شناسی در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی نمک، اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، تهران. ۱۹ تا ۲۲ مهر.
- کاظمی، ن.، پورسلطانیم، ر.، فاضل‌ولی‌پو، ا. ۱۳۹۳. مطالعه آب‌های سطحی حوضه آبریز کارده، شمال مشهد، ایران، دومین کنفرانس علوم و مهندسی و فناوری‌های محیط زیست، دانشگاه تهران.
- کریمی، ث.، محمدی، ض.، سامانی، ن. ۱۳۹۶. بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی آب زیرزمینی و روند تکامل شوری آن در دشت سمنان، مجله هیدروژئولوژی، دوره ۲، صفحات ۱-۱۹.