

بررسی وضعیت هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت خانمیرزا در ارتباط با سازندهای زمین‌شناسی (استان چهارمحال و بختیاری)

مریم آهنکوب^{۱*}، گشتاسب مردانی^۲، سیدحسین طباطبایی^۳ و زهرا هادی‌پور^۴

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام‌نور، ایران

۲- استادیار پژوهشکده علوم پایه سلامت، مرکز تحقیقات سلولی و ملکولی، دانشکده علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۴- کارشناس ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

نویسنده مسئول: ahankoub_m@yahoo.com *

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۳

دریافت: ۱۴۰۰/۴/۳

چکیده

آبخوان خانمیرزا در دشت خانمیرزا و در جنوب لردگان در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. این منطقه از نظر زمین‌ساختاری در زون زاگرس چین‌خورده و در جنوب گسل دنا قرار دارد. مطالعات صحرایی و پتروگرافی دال بر حضور سازندهای زمین‌شناسی متنوع (آهک، دولومیت، رس، گچ، نمک، ماسه‌سنگ و سنگ‌های آذرین) از پرکامبرین تاکنون می‌باشد. بررسی سه دوره آنالیز شیمیایی ۱۶ حلقه چاه طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۶ و بررسی داده‌های هیدروژئوشیمیایی به دوره ۱۰ ساله نشان‌دهنده روند کاهشی کیفیت آب در بخش‌های مرکزی و شرقی دشت می‌باشد. پهنه‌بندی مکانی پارامترهای شیمیایی نمایانگر سیر تکامل ژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت خانمیرزا از تیپ بی‌کربناته کلسیک (منیزیک) با غلظت املاح کم در مناطق تغذیه شمال غربی و جنوب شرقی آغاز و به تیپ کلروسدیک در منطقه تخلیه مرکزی دشت خاتمه پیدا می‌کند. نسبت‌های یونی دشت خانمیرزا انحلال ژیبس و نفوذ آب‌شور در اطراف گسل و مرکز دشت را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز عناصر سنگین دال بر غلظت بالای $0/08$ تا $0/11$ As، $0/52$ تا $0/46$ Co، $0/51$ تا $0/43$ Cd، $83/17$ تا $60/57$ Fe، $1/43$ تا $0/96$ Pb تا چندین برابر استاندارد جهانی در آبخوان می‌باشد. وجود وضعیت تکتونیک و چینه‌شناسی منطقه مهمترین عامل آلاینده‌گی آب زیرزمینی به عناصر سنگین می‌باشد. حضور سکانس‌های از سازندهای تبخیری هرمز در شرق حوزه، و حضور سازندهای رسی و ماندگاری آب در بخش مرکزی حوزه باعث شوری و تجمع عناصر سنگین در دشت خانمیرزا شده است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، هیدروژئوشیمی، نسبت یونی، عناصر سنگین، دشت خانمیرزا، لردگان

پیشگفتار

(هلیم و همکاران، ۲۰۰۹). در محیط‌های آبی عناصر سنگین و سمی در رسوبات تجمع یافته و در محیط باقی می‌مانند، که در این بین فرایندهای ژئوشیمیایی محیط زیستی، نیز بر غلظت عناصر در رسوبات تأثیر بسزایی دارد. به عبارتی، آلاینده‌ها برای مدت طولانی در رسوبات باقی می‌مانند اما در اثر فعالیت‌های بیولوژیکی و در نتیجه تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی، وارد آب‌های فوقانی می‌شوند (هلینگ، ۱۹۹۰). استفاده از نمودارهای ترکیبی یون‌های عمده، ابزاری مفید و کاربردی در تعیین فرایندهای هیدروشیمی حاکم بر آبخوان می‌باشد (لکشمنا و همکاران، ۲۰۰۳؛ وتسیست و همکاران، ۲۰۱۵). با شناسایی فرایندهای حاکم در محیط می‌توان، ناهنجاری‌های ناشی از آلودگی‌های مختلف به‌ویژه

با توجه به اهمیت کیفیت آب به‌عنوان یکی از بارزترین منابع حیاتی، بررسی آلاینده‌های آب در مناطق مستعد آلودگی امری بسیار ضروری می‌باشد. آلاینده‌ها می‌توانند از دو مرجع انسانی و طبیعی وارد یک آبخوان شده و به‌صورت نقطه‌ای و یا غیرنقطه‌ای گسترش یابند (ژانگ و همکاران، ۱۹۹۶). اندازه‌گیری میزان آلودگی آب زیرزمینی، و به‌خصوص آبخوان‌های آبرفتی، به عناصر کمیابی چون کادمیم، آهن، آرسنیک، سرب، به عنوان یکی از فاکتورهای کنترل کیفیت بسیار حایز اهمیت می‌باشد غلظت این عناصر در آب زیرزمینی شدیداً به پارامترهای هیدروژئوشیمیایی حاکم بر محیط آبخوان و ویژگی‌های زمین‌شناختی مواد سازنده آبخوان بستگی دارد

عمق سنگ‌بستر در این منطقه، به بررسی‌های شرکت پورآب در سال ۱۳۸۸ برمی‌گردد. در طی این مطالعات بیشترین عمق ۱۵۰ متر مربوط به بخش‌های با لیتولوژی آهک، کنگلومرا و کمترین عمق ۸ متری متعلق به لیتولوژی آبرفتی می‌باشد. در طی گزارشات پورآب، به مدیریت منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از برداشت بی‌رویه تأکید شده است. دادستان (۱۳۸۹) تنها گزینه مناسب جهت جلوگیری از نشست کلی دشت و حفظ محیط‌زیست منطقه را انتقال آب سطحی از حوضه دیگر و تلفیق با آب‌های سطحی منطقه می‌داند. همچنین مطالعه تغییرات الگوی پهنه‌بندی نیترا و اهمیت آن از بعد بهداشتی توسط استواری و همکاران (۱۳۹۳) صورت گرفته‌است. علاوه بر این گزارشی مبنی بر دخالت واحدهای زمین‌شناسی (مارن و شیل) همراه با نیترا و کشاورزی در آلودگی منابع آب در منطقه خانمیرزا رایج شده است می‌باشد (آهنکوب، ۱۳۹۲). در این گزارش به افزایش شوری و افت قابل‌ملاحظه سطح ایستابی آب آبخوان مورد مطالعه اشاره شده است. همچنین وی به بررسی‌های پتروژئیک و ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه پرداخته است. در مطالعات کیفیت آب آبخوان خانمیرزا، با استفاده از شاخص IWQ، بالاترین کیفیت آب، به بخش‌های شمالی و غربی آبخوان نسبت داده است (اقبال، ۱۳۹۲). در بررسی تصاویر ماهواره‌ای، نقش کاربری اراضی را بر منابع آب‌های زیرزمینی منفی دانسته‌اند و دشت خانمیرزا را جزء یکی از آبخوان‌های که توسط بیلان منفی تهدید می‌شود، قرار داده‌اند (مرتضائی و کهندل، ۱۳۹۴). با توجه به اهمیت کیفیت آب جهت کشاورزی و شرب، کاهش کیفیت آب، و عدم مطالعه دقیق و جامع بروی سازندهای زمین‌شناسی منطقه، مطالعه و پژوهش در خصوص دخالت عوامل زمین‌شناسی ضروری به نظر می‌رسد. لذا در این نوشتار به بررسی هیدروشیمی، تعیین تیپ و آنومالی‌های هیدروشیمیایی آبخوان خانمیرزا با تأکید بر پارامترهای زمین‌شناسی، همچون سازندهای منطقه، پرداخته شده است.

موقعیت زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه مطالعه شده

آبخوان دشت خانمیرزا در جنوب شرقی استان چهارمحال و بختیاری، در ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دنا-

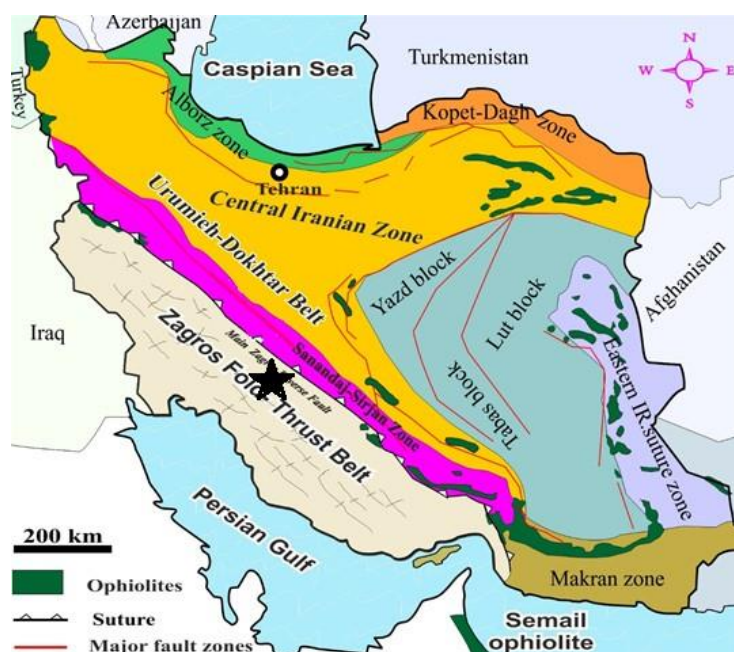
شورابه‌ها (مونجرزی و همکاران، ۲۰۱۲) و آب‌های فسیلی (کورتس و همکاران، ۲۰۱۶) را تشخیص داد. امروزه مطالعات متعددی در خصوص دخالت و تاثیرگذاری سازندهای زمین‌شناسی بروی کیفیت آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است. در طی تحقیقاتی که در سال ۲۰۰۳ بروی آبخوان وان در شرق ترکیه صورت گرفت، علت اصلی کاهش کیفیت آب، حضور سازندهای نمکی و گچی ذکر شده است (اوزلر، ۲۰۰۳). همینطور در اروپا، در شمال غرب اسپانیا، افت پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی، به واسطه حضور سازندهای تبخیری بیان شده است (آیرو و همکاران، ۲۰۱۳). در ایران نیز، حضور سازندهای تبخیری، مربوط به دوران‌های مختلف زمین‌شناسی، تاثیرات بسزایی در کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی دارد. این امر به ویژه در سال‌های اخیر به واسطه برداشت بی‌رویه آب، و خشکسالی بیشتر مشهود بوده است. بطوریکه آبخوان دشت عجب‌شیر بواسطه انحلال سازندهای تبخیری، واکنش آب-سنگ، و شسته شدن املاح از سازندهای رسی-نمکی، شور شده و پارامترهای کیفی خود را از دست داده است (رضوی و سلیمانی، ۱۳۹۸). همچنین بررسی مدل‌های آماری و هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت تبریز نشان می‌دهد که این آبخوان نسبت به کانی‌های کربناته فوق‌اشباع می‌باشد. در آبخوان فوق، سازندهای زمین‌شناسی و سپس عوامل انسانی به عنوان عوامل آلاینده ذکر شده است (برزگر و همکاران، ۱۳۹۵). مطالعات هیدروژئوشیمیایی دشت فاروق در استان فارس، دال بر کاهش کیفیت آب به واسطه حضور سازندهای رسی در منطقه می‌باشد (قره محمودلو و همکاران، ۱۳۹۷). در بررسی برهم‌کنش هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت گله‌دار با سازندهای زمین‌شناسی در جنوب استان فارس، حضور سازندهای نمکی-گچی همراه با پسابهای کشاورزی به عنوان فاکتور اصلی کاهش کیفیت آب ذکر شده است (انصاری و مظفری‌زاده، ۱۳۹۳). جهانشیری و زارع (۲۰۱۶) ادعا می‌کنند که حضور سازندهای تبخیری ساچون منجر به کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی مهارلو شده است.

آبخوان دشت خانمیرزا یکی از آبخوان‌های آبرفتی با کیفیت در جنوب استان چهارمحال و بختیاری بود که در طی بررسی داده‌های ۱۰ ساله، کاهش کیفیت به وضوح قابل مشاهده است. مطالعات تخصصی کف‌شکنی و تعیین

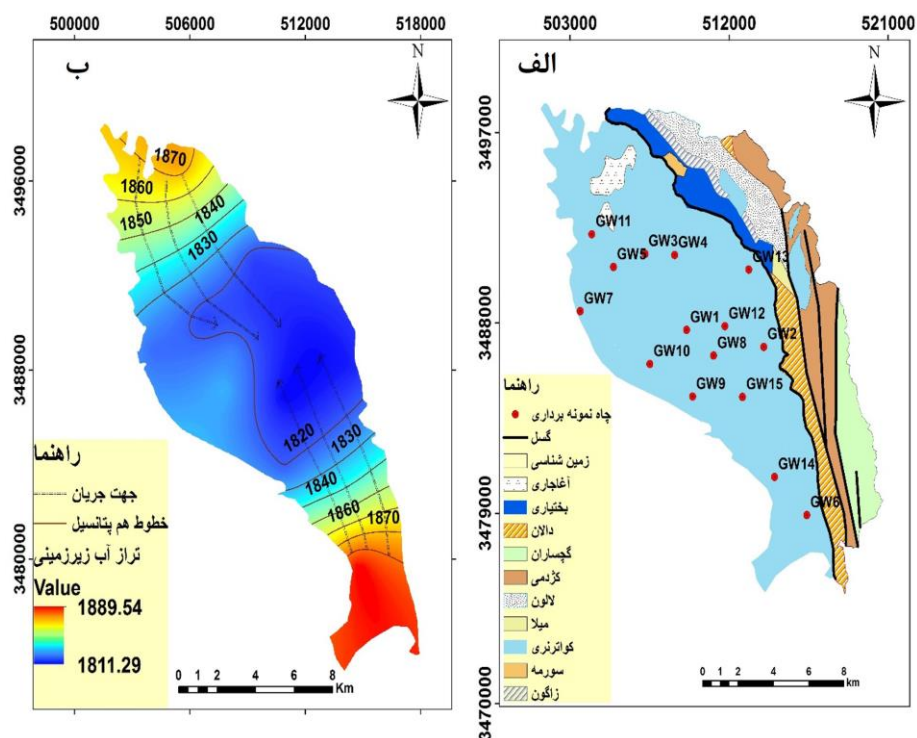
آهکی، ماسه‌سنگ‌ها، دولومیت‌ها، شیل‌های سیاه، نهشته‌های تبخیری گچ، نمک و قطعات نایر جای آذرین می‌باشد که در جنوب حوزه آبخوان به‌خوبی رخنمون دارند. در بخش‌های مرکزی حوزه آبخوان رسوبات عمدتاً شامل تشکیلات مارنی، شیلی و رسی دانه‌ریز است. حاشیه شمال شرق تا جنوب شرق آبخوان به‌استثنای بخش‌های گسله شده شامل آهک و کنگلومرای می‌باشد. جوان‌ترین سازندها متعلق به رسوبات و تراس‌های آبرفتی عهد حاضر می‌باشد. وضعیت ژئوفیزیکی گنبد‌های نمکی و عملکرد گسل‌های منطقه منجر به حضور قطعاتی از سنگ‌های ماگمایی همراه با نهشته‌های تبخیری در منطقه شده است. نقشه موقعیت آبخوان خانمیرزا، چاه‌های نمونه‌برداری و زمین‌شناسی منطقه نشان داده شده است (شکل ۲ الف و ب). اگرچه تراز آب در زمان‌های مختلف متفاوت است ولیکن روند کلی جریان در همه زمان‌ها نسبتاً یکسان بوده و بالاترین سطح ایستابی به بخش‌های شمالی و غرب تعلق دارد (کرباسی و بیاتی، ۱۳۸۶). به‌استثنای پایین‌افتادگی سطح آب در قسمت شرقی دشت، که ناشی از تمرکز برداشت آب از چاه‌های کشاورزی و وجود گسل‌هایی است که در خروج آب نقش بسزایی داشته‌اند، در سایر قسمت‌های دشت، جبهه تغذیه آب زیرزمینی، به سمت مرکز دشت به هم می‌رسند (شکل ۲).

بروجن و در بین طول‌های جغرافیایی $51^{\circ} 13' 30''$ و $50^{\circ} 50' 30''$ شرقی و عرض‌های $31^{\circ} 24' 03''$ و $31^{\circ} 38' 05''$ شمالی، و در زون ساختاری زاگرس چین‌خورده واقع شده است (شکل ۱).

این آبخوان با امتداد شمال، شمال‌غرب - جنوب، جنوب شرق، یک آبخوان آبرفتی آزاد با وسعت ۲۲۶ کیلومترمربع می‌باشد که در توسعه صنعت کشاورزی و تأمین آب شرب منطقه نقش بسزایی دارد. در تقسیمات زمین‌ساختاری ایران، محدوده دشت خانمیرزا در لبه شمال خاوری زون زاگرس چین‌خورده و در مجاورت گسل پی‌سنگ دنا در انتها جنوب باختری زون زاگرس مرتفع واقع شده است (آقانیاتی، ۱۳۸۳). گسل تراسی دنا، گسلی پی‌سنگ است که در خاور و شمال خاوری دشت آبرفتی خانمیرزا، لبه‌های زون رورانده و چین‌خورده زاگرس را به هم دوخته است و در برخی مناطق نیز مانند باغ بهزاد، آبرفت‌های جوان را بریده و فرسایش داده است. شواهد نشان داده است که شیب آن در ژرفا کاسته شده و نزدیک به افق بوده و از نوع گسل‌های قاشقی می‌باشد (زاهدی، ۱۳۷۰). قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه متعلق به سنگ‌های رسوبی پرکامبرین است بدنبال آن توالی‌های از سنگ‌های پالئوزوئیک، سنوزوئیک و کواترنری در منطقه رخنمون دارند. تشکیلات پرکامبرین شامل سازندهای رسوبی، آذرین و تبخیری سازند هرمز می‌باشد که به‌صورت مجموعه‌ی درهم‌ریخته تکتونیک از سنگ‌های



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه زمین‌شناسی واحدهای ساختاری ایران (شبانان و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل ۲. الف: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ بروجن) (صدافت و همکاران، ۱۸۲) و ب: جهت جریان دشت خانمیرزا

مواد و روش‌ها

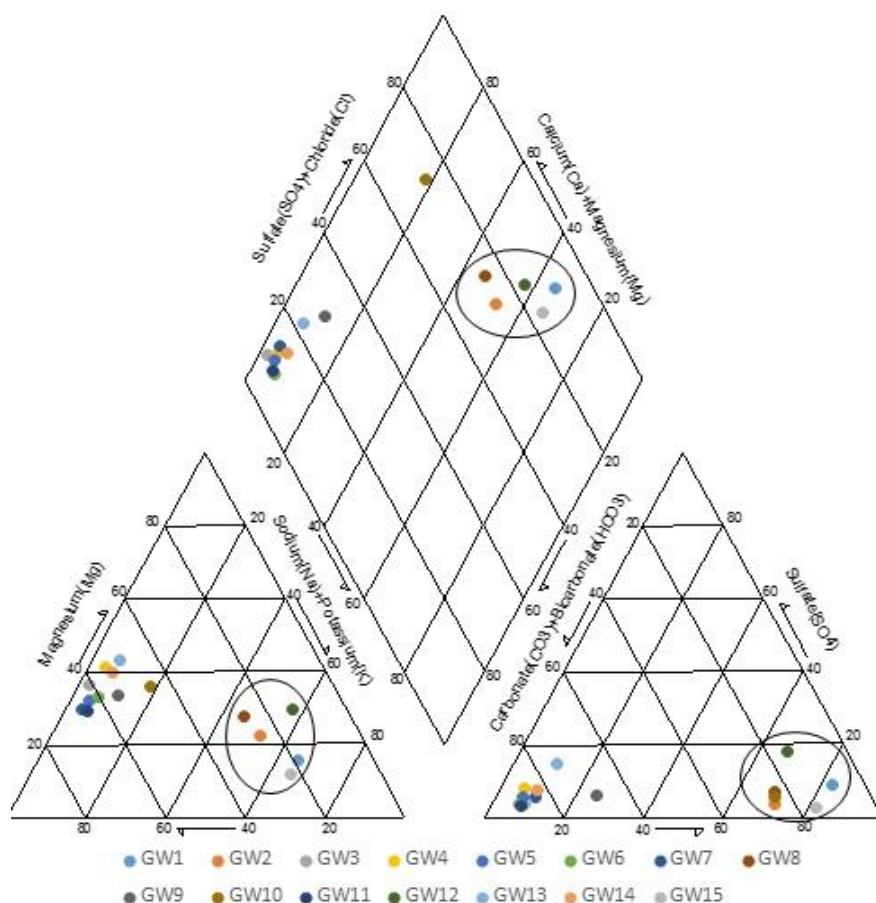
به منظور بررسی کیفیت آبخوان دشت خانمیرزا، در سه نوبت (۲ دوره فصل تر و ۱ دوره فصل خشک) سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ نمونه‌برداری صورت گرفت. متغیرهای فیزیکوشیمیایی pH، Eh، EC، TDS، دما و شوری نمونه هر چاه در محل، توسط یک دستگاه چندمتغییره کالیبره شده مدل Mesu Lab ME-510 اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری سایر پارامترها از جمله کاتیون‌ها، آنیون‌ها و عناصر سنگین، تعداد ۱۶ نمونه، به شرکت معتبر امور آب منطقه‌ای ارسال شد. همچنین در این کار پژوهشی، اطلاعات مربوط به نمونه‌برداری یک دوره ۱۰ ساله بالغ بر ۷۰۰ چاه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به تاکید و اهمیت پترولوژی و سازندهای زمین‌شناسی منطقه در تغییرات کیفیت آب، تعداد ۳۸ نمونه سنگ آذرین، رسوبی و دگرگونی با توجه به تنوع لیتولوژی و موقعیت منابع آبی انتخابی برداشت شده و جهت آنالیز به شرکت ACME در کانادا ارسال شدند. نقشه تغییرات مکانی پارامترهای کیفی با استفاده از نرم‌افزار ArcGis10.1 تهیه شد و روند تغییرات تفسیر شد. همچنین با ترسیم دیاگرام‌های پایپر با نرم‌افزار Aq.QA، تحلیل داده‌های هیدروژئوشیمیایی صورت گرفت.

نتایج

بر اساس تحلیل داده‌های هیدروژئولوژی و مقایسه‌ی با وضعیت توپوگرافی منطقه، می‌توان ادعا کرد که حرکت آب زیرزمینی از توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند. همچنین جهت جریان عمومی آب زیرزمینی منطبق با جریان‌های سطحی و از ارتفاعات شمالی، شرقی و مرکزی حوزه به سمت مرکز حوزه می‌باشد. حضور گسل‌های بزرگ و عمیق، همراه با سازندهای تبخیری که تا اعماق زیاد گسترش دارند، تأثیر بسزایی بر روی جهت جریان و کیفیت آب زیرزمینی داشته است. سازندهای تبخیری در بخشی جنوبی و شرقی به‌ویژه در فصول خشک‌سال، می‌تواند یکی از مهمترین پارامترهای کاهش مقادیر کمی و کیفی آب در دشت خانمیرزا باشد. مقایسه روند حرکت آب زیرزمینی با نقشه زمین‌شناسی منطقه، نیز دال بر تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر وضعیت جریان آب زیرزمینی منطقه بوده است. در بخش‌های شمالی، جنوبی و غربی دشت سازندهای آهکی رخنمون دارند که به دلیل گسترش نسبی کارست در آن‌ها، قابلیت تغذیه آبخوان آبرفتی را بدست آورده‌اند. از این نظر در اکثر بخش‌هایی که این سازندها رخنمون دارند مرزهای تغذیه آب زیرزمینی مشاهده می‌شود. زمین‌شناسی و لیتولوژی ارتفاعات در تغذیه لایه‌های آبدار محدوده مورد مطالعه

کلسیم قرار دارند (شکل ۳). نمونه‌های چاه‌های مرکز دشت نسبت به سایر نمونه‌ها مقدار کلر، سدیم و پتاسیم بیشتری دارند. تمایل نمونه‌ها به گوشه سدیم در مثلث کاتیونی علی‌رغم عدم حرکت به سمت کلرور، در مثلث آنیونی در نمونه‌های زمینه دشت، نمایانگر تبادل یونی می‌باشد. تیپ آب غالب بر اساس نمودار پایپر بی‌کربناته کلسیم می‌باشد. این در حالی است که نمونه‌های مرتبط با مرکز دشت، تیپ آب کلروره - سدیک می‌باشد. نتایج پلات داده‌ها در دیاگرام‌های شولر و ویلکوکس دال بر کیفیت خوب و مطلوب منابع آبی در بخش‌های شمالی و غربی حوزه جهت کشاورزی، شرب، و کیفیت نامطلوب آب در بخش‌های شرقی و مرکزی می‌باشد.

دال، بر حضور دو گروه تشکیلات می‌باشد: ۱- گروه تشکیلاتی نفوذپذیر و کارستیک که از نظر چینه‌شناسی مشتمل بر تشکیلات گروه بنکستان شامل آهک‌های سروک و سورگاه و وجود چاه‌های پرآب با دبی بالا در دامنه ارتفاعات می‌باشد که دال بر پتانسیل بالای این گروه هستند. گروه بنکستان در شرق و شمال شرق دشت خانمیرزا نقش بسزایی در تغذیه سفره آب دشت داشته است. ۲- گروه تشکیلات نفوذناپذیر که شامل لایه‌های رس و مارن بوده و در حاشیه گنبد نمکی و بخش‌های جنوبی، غرب و مرکز خانمیرزا رخمون دارند. بر اساس نمودار پایپر، اکثر نمونه‌های آبخوان خانمیرزا بر روی مثلث آنیون‌ها، نزدیک به رأس کربنات و بی‌کربنات قرار گرفته و بر روی مثلث کاتیون‌ها، تقریباً نزدیک به رأس



شکل ۳. نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت خانمیرزا سال ۱۳۹۵

غنی از کلسیم قرار گیرند در اثر تبادل یونی معکوس، سدیم از آب برداشته می‌شود و وارد بافت خاک می‌شود. وجود یون کلسیم در آب زیرزمینی به علت انحلال ژئیس و کربنات به‌خصوص در نزدیکی گسل‌ها در چاه‌های تشکیلات

نسبت‌های یونی می‌توانند منشأ یون‌های موجود و تکامل آب زیرزمینی را تعیین کند. بر طبق (جدول ۱) در دشت خانمیرزا تبادل یونی معکوس بین سدیم و کلسیم باعث افزایش یون کلسیم در منابع آب زیرزمینی شده است. تنها زمانی که آب‌های با شوری بالا در تماس با رس‌های

شده تیپ و رخساره منابع آب به سمت کلرو سدیک حرکت کند در حالت کلی تمام نسبت‌های یونی نسبت به هم تأثیر مستقیم دارند و با افزایش یک نسبت یونی نسبت‌های یونی دیگر هم تغییر می‌کنند پس باید برای تفسیر هیدروژئوشیمی از تمام نسبت‌های یونی استفاده شوند (جدول ۱).

هرمز در تماس هستند میزان یون کلسیم را افزایش می‌دهد. منشأ یون بی‌کربنات موجود در منابع آب زیرزمینی به‌خصوص اطراف گسل‌ها و مرکز دشت که تیپ آب آن کلرو سدیک است به علت انحلال ژپیس و نفوذ آب‌شور می‌باشد. وجود یون غالب سدیم در مرکز دشت نشان‌دهنده تکامل آب زیرزمینی است که باعث

جدول ۱. نسبت‌های یونی چاه‌های دشت خانمیرزا

نسبت یونی چاه	na/na+cl	منشأ یون سدیم	mg/ca+mg	منشأ یون منیزیم	ca/ca+so4	منشأ یون کلسیم	cl/sum anion	منشأ یون کلر	hco3/sum anion	منشأ یون بیکربنات
GW1	0.4	تبادل یونی معکوس	0.4	هوازگی سنگ‌آهک	0.6	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.8	هوازگی سنگ	0.08	انحلال ژپیس و نفوذ آب‌شور
GW2	0.4	تبادل یونی معکوس	0.4	هوازگی سنگ‌آهک	0.8	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.7	هوازگی سنگ	0.2	انحلال ژپیس و نفوذ آب‌شور
GW3	0.1	تبادل یونی معکوس	0.3	هوازگی سنگ‌آهک	0.9	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.08	هوازگی سنگ	0.9	هوازگی سیلیکات یا کربنات
GW4	0.3	تبادل یونی معکوس	0.4	هوازگی سنگ‌آهک	0.8	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.06	هوازگی سنگ	0.85	هوازگی سیلیکات یا کربنات
GW5	0.3	تبادل یونی معکوس	0.3	هوازگی سنگ‌آهک	0.9	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.06	هوازگی سنگ	0.87	هوازگی سیلیکات یا کربنات
GW6	0.4	تبادل یونی معکوس	0.3	هوازگی سنگ‌آهک	0.9	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.07	هوازگی سنگ	0.9	هوازگی سیلیکات یا کربنات
GW7	0.2	تبادل یونی معکوس	0.3	هوازگی سنگ‌آهک	0.9	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.1	هوازگی سنگ	0.84	هوازگی سیلیکات یا کربنات
GW8	0.3	تبادل یونی معکوس	0.5	هوازگی دولومیت	0.7	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.7	هوازگی سنگ	0.2	انحلال ژپیس و نفوذ آب‌شور
GW9	0.2	تبادل یونی معکوس	0.3	هوازگی سنگ‌آهک	0.9	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.2	هوازگی سنگ	0.7	انحلال ژپیس و نفوذ آب‌شور
GW10	0.1	تبادل یونی معکوس	0.4	هوازگی سنگ‌آهک	0.8	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.7	هوازگی سنگ	0.2	انحلال ژپیس و نفوذ آب‌شور
GW11	0.4	تبادل یونی معکوس	0.3	هوازگی سنگ‌آهک	0.9	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.07	هوازگی سنگ	0.9	هوازگی سیلیکات یا کربنات
GW12	0.4	تبادل یونی معکوس	0.6	انحلال دولومیت	0.4	تبادل یونی	0.7	هوازگی سنگ	0.1	انحلال ژپیس و نفوذ آب‌شور
GW13	0.3	تبادل یونی معکوس	0.4	هوازگی سنگ‌آهک	0.7	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.1	هوازگی سنگ	0.7	انحلال ژپیس و نفوذ آب‌شور
GW14	0.3	تبادل یونی معکوس	0.4	هوازگی سنگ‌آهک	0.8	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.1	هوازگی سنگ	0.82	هوازگی سیلیکات یا کربنات
GW15	0.4	تبادل یونی معکوس	0.3	هوازگی سنگ‌آهک	0.8	انحلال ژپیس و کربنات‌ها	0.8	هوازگی سنگ	0.1	انحلال ژپیس و نفوذ آب‌شور

کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی شده است (آپلو و پستما، ۱۹۹۹). ترسیم تغییرات مکانی هدایت الکتریکی آبخوان، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.1 نمایانگر تغییرات ۳۰۰ تا بیش از ۵۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در آبخوان خانمیرزا می‌باشد (شکل ۴) جهت جریان کلی آب زیرزمینی از منطقه تغذیه اطراف دشت به سمت خروجی (مرکز دشت) افزایش می‌یابد، که هدایت الکتریکی در مرکز دشت به‌طور ناهنجاری تا بیش از

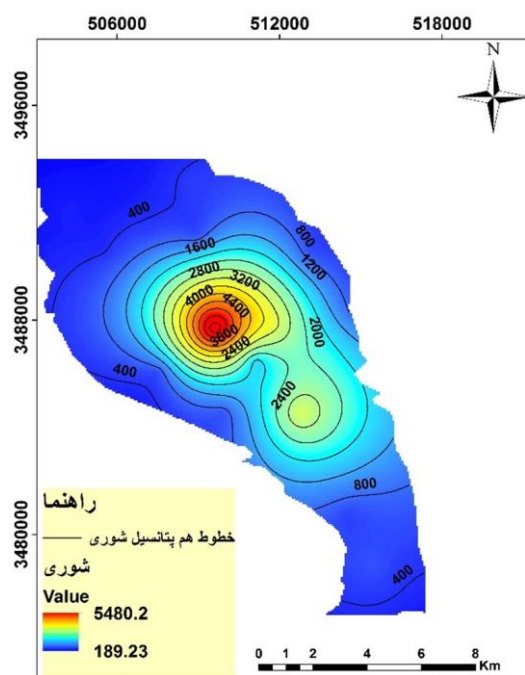
بر اساس داده‌های جدول ۱، پارامترهای هیدروژئوشیمی آبخوان خانمیرزا نمایانگر آنومالی‌های در غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها و مقادیر EC می‌باشد. بررسی و تلفیق داده‌ها نشان می‌دهد از یک طرف خشکسالی‌های اخیر منجر به پمپاژ چاه‌ها و اعمال فشار مضاعف بر آبخوان خانمیرزا شده، از طرف دیگر سازندهای تبخیری و رسی، منجر به افت سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت خانمیرزا شده‌اند. در نتیجه، مجموعه این فرایندها باعث نفوذ آب‌شور و

عناصر سنگین در بخش‌های جنوبی و مرکزی دشت، و حضور نهشته‌های تیخیری، تشکیلات هرمز، در اطراف گسل، منجر به افزایش پراکنش عناصر سنگین در شرق و مرکز دشت شده است. انومالی‌های بالای عناصر سنگین در بخش مرکزی دشت بواسطه لیتولوژی بخش مرکزی که شامل سازندهای نفوذناپذیر رسی، که دارای قابلیت بالای در جذب عناصر سنگین تا چندین برابر حجم خود، و به علت وضعیت توپوگرافی منطقه و جهت جریان آب زیرزمینی، انومالی‌های عناصر سنگین در بخش مرکزی شدیدتر شده است. به عبارتی سازندها و تشکیلات رسی دانه‌ریز نیز به‌واسطه ترکیب کانی‌شناسی خود، از یک‌طرف مانع از انتقال آب به سازندهای مجاور و از طرف دیگر با نگهداری طولانی آب منجر به کاهش کیفیت آب می‌شوند.

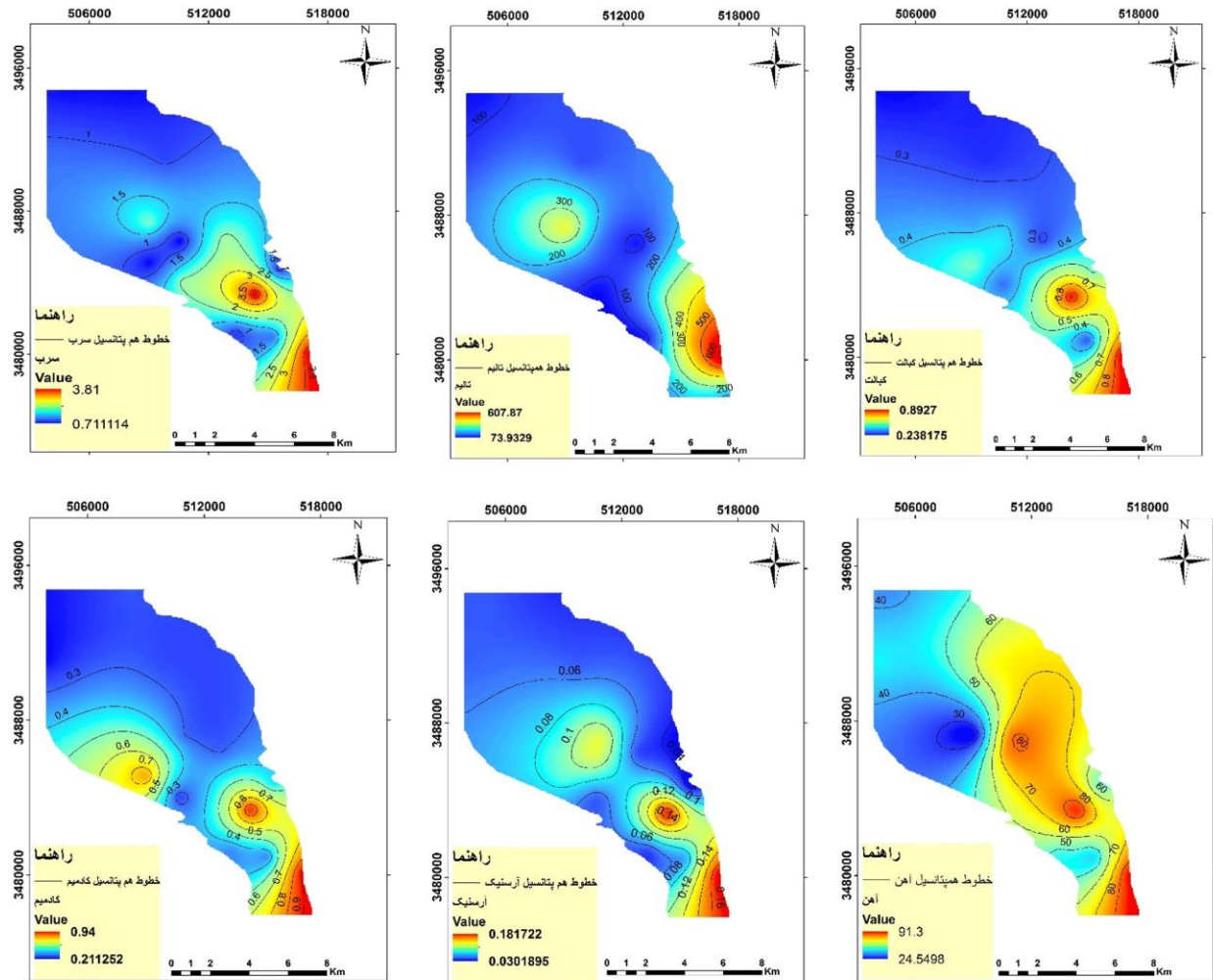
۵۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در ۱۳۹۵ افزایش یافته است. داده‌های ژئوشیمی آبخوان خانمیرزا دال بر غلظت بالای عناصر سنگین (Co, As, Ta, Pb, Fe, Cd) بیش‌ازحد استاندارد سازمان بهداشت می‌باشد (جدول ۲). پلات داده‌ها نمایانگر انطباق انومالی‌های عناصر سنگین در اطراف گسل‌ها و مرکز دشت می‌باشد. همچنین میانگین عناصر سنگین، دلالت بر افزایش میزان پراکنش این عناصر به‌مرور زمان می‌باشد. تمامی عناصر سنگین از جمله سرب، کادمیموم، آرسنیک، کبالت و تالیم به همراه آهن در بخش‌های مرکزی و جنوبی حوزه دارای بالاترین غلظت بوده که در طی برداشت‌ها مرتباً بر مقدار آن افزوده شده است (شکل ۵). داده‌های پترولوژیکی و ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند که حضور سنگ‌های آذرین و رسوبی غنی از کانی‌های حاوی

جدول ۲. میانگین غلظت عناصر سنگین در طی سه مرحله نمونه‌برداری و آنالیز همراه با مقادیر استاندارد WHO

Sample	مقادیر استاندارد جهانی	مقادیر استاندارد ایران	میانگین دوره اول برداشت	میانگین دوره دوم برداشت	میانگین دوره سوم برداشت
Co	۰	۰	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۵۲
Fe	۰/۳	۰/۲	۶۰/۵۷	۸۲/۹۰	۸۳/۱۷
Pb	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۹۶	۱/۳۸	۱/۴۳
Cd	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۴۳	۰/۴۸	۰/۵۱
Ta	۰/۷	۰/۷	۲۵۲/۴۵	۲۱۴/۴۷	۲۱۵/۸۸
As	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۸



شکل ۴. هدایت الکتریکی دشت خانمیرزا برحسب میکروموس بر سانتی‌متر سال ۱۳۹۵



شکل ۵. پراکنش عناصر سنگین در دشت خانمیرزا

نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر عملکرد فرایند هیدروژئوشیمیایی به همراه سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب آبخوان دشت خانمیرزا مورد پژوهش قرار گرفت. پهنه‌بندی فاکتورهای شیمیایی دال بر روند افزایشی غلظت عناصر سنگین، کاتیون‌ها و آنیون‌ها در بخش مرکزی و شرقی دشت می‌باشد. این تغییرات مکانی عناصر باعث کاهش کیفیت آب در آبخوان شده است. این در حالی است که در بخش‌های شمالی و غربی دشت، به واسطه حضور سازندهای کربناته تغییر پارامتر شیمیایی صورت نگرفته است. واکنش - آب و سنگ، انحلال ژپس و نمک، و ترکیبات حاوی عناصر سنگین در بخش‌های شرقی دشت به واسطه حضور سازندهای تبخیری، فاکتور عمده کاهش کیفیت آب به شمار

می‌رود. در بخش‌های مرکزی، حضور سازندهای رسی منجر به کاهش کیفیت آب زیرزمینی آبخوان شده است. علاوه بر این فاکتورهای برداشت مستمر و بی‌رویه آب، کاهش بارندگی در سال‌های اخیر و انحلال نهشته‌های تبخیری باعث افزایش شوری در دشت خانمیرزا به شمار می‌رود. همچنین شیب فرایندهای چون خشکسالی، و برداشت بی‌رویه آب و استفاده از سموم کشاورزی همراه با توپوگرافی، شیب هیدرولیک دشت، در کاهش کیفیت آب این آبخوان بسیار موثر بوده است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری و معاونت پژوهشی دانشگاه پیام‌نور مرکز شهرکرد که منابع

دشت سیدان-فاروق، استان فارس، مجله اکوهیدرولوژی، شماره ۴، ص ۱۲۵۳-۱۲۴۱.

مرتضائی، ق.، و کهندل. ا. (۱۳۹۴) بررسی تغییرات کاربری اراضی بر منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: چهارمحال و بختیاری)، علوم و مهندسی آب‌خیزداری.

هادیپور هفشجانی، ز.، ناصری، ح.، و علیجانی، ف. (۱۳۹۷) فرآیندهای هیدروژئوشیمی آبخوان کوهدشت، مجله هیدرولوژی، دوره ۳، شماره ۱، ص ۳۲-۴۶.

- Appelo, C. A. J., and Postma, D (1999) Geochemistry groundwater and pollution. Balkema, Rotterdam.
- Cortes, J. E., Muñoz L. F., Gonzalez C. A., Niño J. E., Polo A., Suspes A., Siachoque S. C., Hernández A., and Trujillo H (2016) Hydrogeochemistry of the formation waters in the San Francisco field, UMV basin, Colombia – A multivariate statistical approach. *Journal of Hydrology*, 539: 113-124.
- Gutierrez, F., Galve, G. P., Auque, L. F., Carbonel, D., Gimeno, M. J., Gomez, J. B., Asta. M. P., and Yechieliy. Y (2013) Hydrogeochemical characterization of an evaporite karst area affected by sinkholes (Ebro Valley, NE Spain), *geological Acta*, 4: 389-407.
- Halim, M. A., Majumder, R. K., Nessa, S. A., Hiroshiro, Y., Uddin, M. J., Shimada, J., and Jinno, K (2009) Hydrogeochemistry and arsenic contamination of groundwater in the Ganges delta plain, Bangladesh. *Journal of Hazard*, 164: 1335-1345.
- Helling, D (1990) *Sediments and Environmental Geochemistry*. Springer Verlag. New York.
- Jahanshahi, R., and Zare, M (2016) Hydrochemical investigations for delineating salt-water intrusion into the coastal aquifer of Maharlou Lake, Iran, *Journal of African Earth Sciences*, 121: 16-29.
- Lakshmanan, E., Kannan, R., and Senthil Kumar, M (2003) Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of ground water in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *Environmental Geosciences*, 10: 157-166.
- Monjerezi, M., Vogt, R. D., Aagaard, P., and Saka, J. D. K (2012) The hydro-geochemistry of groundwater resources in an area with prevailing saline groundwater, lower Shire Valley, Malawi. *Journal of African Earth Sciences*, 68: 67-81.
- Murat, H. O (2003) Hydrochemistry and salt-water intrusion in the Van aquifer, east Turkey, *Environmental Geology*, 43: 759-775.
- Voutsis, N., Kelepertzis, E., Tziritis, E., and Kelepertzis, A (2015) Assessing the hydrogeochemistry of groundwaters in ophiolite

مالی این پژوهش را تأمین کردند تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از داوران عزیز مجله به خاطر راهنمایی‌های بسیار ارزنده سپاسگزاریم.

منابع

- استواری، ی.، بیگی هرچگانی، ح.، داودیان، ع. ر. و رادفر، م. (۱۳۹۳) بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی کاتیون‌ها و آنیون‌های معمول در آبخوان دشت لردگان. مجله پژوهش آب. انتشار آنلاین.
- انصاری، ع.، مظفرزاده، ج. (۱۳۹۳) بررسی برهم‌کنش هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت گله‌دار و سازندهای زمین‌شناسی، نشریه ژئوشیمی، شماره ۲، ص ۱۶۲-۱۵۲.
- آقناباتی، س. ع. (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ اول، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- اقبالی، م. (۱۳۹۲) ارزیابی کیفیت آب آبیاری با استفاده از شاخص IWQ برای آب‌های زیرزمینی دشت خانمیرزا و بررسی ارتباط ویژگی‌های آب زیرزمینی و خاک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.
- آهنکوب، م. (۱۳۹۲) بررسی گنبد نمکی و تأثیر آن بر آبخوان جوانمردی و راهکارهای عملی پیشگیری از آن، شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری.
- دادستان، ا. (۱۳۸۹) وضعیت بحرانی آبخوان آبرفتی خانمیرزا و چالش‌های مدیریت آب زیرزمینی، نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران.
- زاهدی، م. (۱۳۷۰) جایگاه گنبد‌های نمکی منطقه زاگرس بلند در ستون چینه‌شناسی ایران، فصلنامه علوم زمین.
- سعیدی‌رضوی، ب.، سلیمانی، ر. (۱۳۹۸) بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی و منشأ یون‌ها در آبخوان ساحلی دشت عجب‌شیر با استفاده از نسبت‌های یونی و تحلیل عاملی، مجله هیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۱، ص ۹۷-۱۱۰.
- کرباسی، ع. ر. و بیاتی، آ. (۱۳۸۶) ژئوشیمی زیست‌محیطی، انتشارات کاوش قلم.
- کاظمیان، ن.، نجبی، م.، اصغری‌مقدم، ا.، برزگر، ر. (۱۳۹۵) بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت تبریز با استفاده از مدل‌های هیدروژئوشیمیایی و روش‌های آماری، مجله علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ص ۳۹-۵۰.
- قره‌محمودلو، م.، حشمت‌پور، ع.، جندقی، ن.، زارع، ع. و مهرابی، ح. (۱۳۹۷) بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی آبخوان

areas of Euboea Island, Greece, using multivariate statistical methods. *Journal of Geochemical Exploration*, 159: 79-92.

Zhang, R., Hamerlinck, J. D., Gloss, S. P., and Munn, L (1996) Determination of nonpoint- source pollution using GIS and numerical models. *Journal of Environmental Qual*, 25: 411-4.

Hydrochemical study of Khanmirza plain aquifer in relation to geological formations (Chaharmahal and Bakhtiari Province)

M. Ahankoub^{*1}, G. Mardani², S. H. Tabatabaei³ and Z. Hadipour⁴

1- Assist. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Basic Sciences, Payame Noor University, Iran

2- Assist. Prof., Cellular and Molecular Research Center, Basic Health Sciences Institute, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, Iran

3- Prof., Dept., of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

4- M. Sc. of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

* ahankoub_m@yahoo.com

Received: 2021/6/23 Accepted: 2021/8/24

Abstract

Khanmirza aquifer is located in Khanmirza plain, south of Lordegan in Chaharmahal and Bakhtiari province. The study area is part of fold Zagros and is located in south of Dena fault. Field and petrographic studies indicate various geological formations (limestone, dolomite, clay, gypsum, salt, sandstone and igneous rocks) from the Precambrian (Hormoz Formations) to the now. The 16 wells during 3 periods were analysis in 2016-2017, and also datas of periods 15 years to were studied. All data indicate to decreas water quality of the central and east part of the plain. Spatial zoning of hydrochemical parameters indicat geochemical evolution process of Khanmirza aquifer groundwater from calcium bicarbonate type (magnesium) with salinity low concentration in northwestern and southeastern and chloro-sodium type in the central part of the plain. The ion ratios of Khanmirza plain show the dissolution of gypsum and the saline water infiltration in around of the fault and the plain central. Results of heavy element analysis indicat to high concentration As = 0.08 - 0.11, Co = 0.52 - 0.46, Cd = 0.51 - 0.43, Fe = 17.17 - 60.57, Pb= 1.43 - 0.96 up several times the world standard. Tectonic setting and stratigraphic unites of the khanmirza are the most important factor of the groundwater heavy elements pollution. The evaporative formations of Hormoz in the east, and the clay formations and water persistence in the central part of the basin have caused salinity and accumulation of heavy metal in Khanmirza plain.

Keywords: Aquifer, Hydrogeochemistry, Ionic ratio, Heavy metals, Khanmirza plain, Lordegan