

ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در ساختگاه سد شهید با استفاده از روش‌های هیدروژئوشیمیایی

مجتبی رحیمی شهید*^۱، غلامرضا لشکری پور^۱، نسترن السادات هاشمیان^۱ و ناصر عبادتی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات: Mr619htt@gmail.com

چکیده

وقوع خشک‌سالی‌های چند دهه‌ای گذشته، افزایش دمای زمین و رشد تصاعدی جمعیت در سرتاسر جهان، لزوم بررسی و مطالعه‌ی کمی و کیفی منابع آب را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد. از طرفی ساخت برخی سازه‌ها نظیر سدها، اهمیت مطالعه‌ی کیفیت آب در محل ساخت چنین سازه‌هایی را افزایش می‌دهد. در این مطالعه با استفاده از روش‌های هیدروژئوشیمیایی به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در ساختگاه سد شهید (واقع در جنوب شهرستان سمیرم) پرداخته شد. به همین منظور از تعیین همبستگی بین پارامترها، بررسی تیپ آب زیرزمینی با استفاده از نمودارهای پایپر (Piper)، درو (Durov)، استیف (Stiff)، نسبت‌های یونی ژئوشیمیایی، فرآیندهای یونی و عکس تبادل یونی استفاده شد. فراوانی عناصر اصلی موجود در آب‌های زیرزمینی منطقه شامل $(K > Na > Mg > Cl > So_4 > Ca > HCO_3 > TDS)$ است. پارامترهای شیمیایی آب در تمامی موارد از لحاظ شرب شرایط مطلوبی دارد. نتایج نشان می‌دهد که رابطه‌ی مستقیم و با همبستگی بالایی (۰/۹۷) بین EC و TDS وجود دارد در حالی که بین سایر پارامترها، همبستگی ضعیفی مشاهده شد. به‌طور کلی می‌توان عنوان کرد که رابطه‌ی HCO_3 با EC، TDS و سایر پارامترها، همبستگی بالاتری دارد. تیپ غالب آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی بی‌کربنات کلسیک است و اکثر نمونه‌ها رخساره‌های آب‌های شیرین را دارند. بر اساس نمودار (Na / Cl) در مقابل (EC) در ۱۱ نمونه تبادل یونی معکوس رخ داده است و تنها یک نمونه منشأ دوگانه از رسوبات رسی و نفوذ آب شور دارد. بر اساس نمودار Ca+Mg در مقابل HCO_3+So_4 ، تمامی نمونه‌ها تبادل یونی طبیعی را نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: جنوب شهرستان سمیرم، ضریب همبستگی، فرآیندهای یونی، کیفیت آب، نسبت‌های یونی.

۱- مقدمه

خواهد یافت (مریدی و همکاران، ۱۳۹۵). مدیریت کیفیت منابع آب جزئی از مدیریت یکپارچه منابع آب است و نحوه اعمال این مدیریت یکپارچه یکی از اصلی‌ترین و حیاتی‌ترین مسائل جهان کنونی بشر است. از مهم‌ترین مراحل برنامه‌ریزی و اجرای مدیریت یکپارچه منابع آب، ارزیابی وضعیت کمی و کیفیت منابع آب است. اصلی‌ترین نتیجه ارزیابی جامع و یکپارچه، افزایش دانش و آگاهی در مورد سیستم مورد نظر و فعال شدن فرآیند یادگیری است (مریدی و همکاران، ۱۳۹۵).

در خصوص بررسی کیفیت منابع آب مطالعات خوب و متعددی صورت گرفته که می‌توان به مطالعات (کارخانه و همکاران، ۱۳۹۴؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مریدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ نجاتی جهرمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ رستگاریا و همکاران، ۱۳۹۸؛ ابراهیمی‌مقدم و عباس‌نژاد، ۱۳۹۹؛ خالقی، ۱۳۹۹؛ حسن-

یکی از اصول راهبردی در هر کشوری جهت دسترسی به توسعه پایدار، حفاظت و استفاده بهینه از منابع آب است. در چند دهه‌ی اخیر با افزایش آلودگی‌های سطحی و افزایش دمای هوا و تشدید تبخیر آب از سطح زمین، مهندسی حوزه‌ی آب‌شناسی نگاه ویژه‌ای به مدیریت کیفیت آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی دارند. اهمیت این موضوع در محل‌های احداث سد چند برابر می‌شود (رحیمی شهید و رحیمی، ۱۳۹۵).

بررسی روندهای گذشته و پیش‌بینی‌های آتی نشان‌دهنده‌ی وضعیت نامطلوب کیفیت منابع آب کشور در سال‌های آتی خواهد بود. به‌عنوان مثال، پیش‌بینی جمعیت کشور، با سناریوی رشد سالانه یک درصدی از حدود ۷۷ میلیون نفر در سال ۱۳۹۲ به حدود ۱۰۲ میلیون نفر در افق ۱۴۲۰ افزایش

لرزه خیزی (Rahimi Shahid et al, 2019) و مهندسی ژئوتکنیک (Rahimi Chamanzadeh et al, 2016-a and b) قبلاً صورت گرفته اما مطالعات کیفیت منابع آب در منطقه صورت نگرفته است. بدین منظور و با توجه به اهمیت موضوع، در این مطالعه به بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی در جنوب روستای شهید (محدوده سد شهید) واقع در جنوب شهرستان سمیرم با استفاده از روش-های هیدروژئوشیمیایی پرداخته شده است.

۲- مواد و روش ها

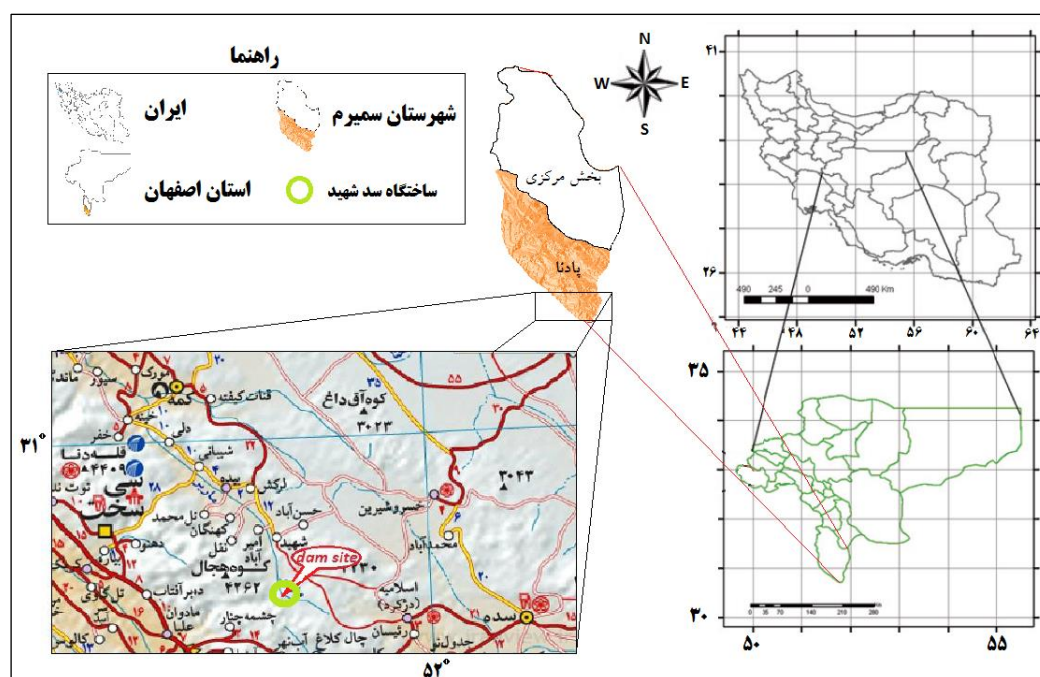
۲-۱ منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب استان اصفهان و شهرستان سمیرم قرار دارد. این منطقه در محدوده ی پادنا و در فاصله ی حدوداً ۳ کیلومتری روستای شهید واقع شده است (شکل ۱). از نظر زمین شناسی، منطقه مورد مطالعه در زون زمین-شناختی زاگرس (زیر پهنه زاگرس مرتفع) قرار دارد (شکل ۲). در این زیر پهنه، وجود سازندهای غالباً آهکی همراه با سیستم کارست پیشرفته و راندگی های متعدد مشهود است. منطقه مورد بررسی بر روی سازند آهکی سورمه، سازند ریزدانه و ماسه سنگی گدوان، آبرفت های عهد حاضر و در عمق بر روی برش های گسلی قرار دارد.

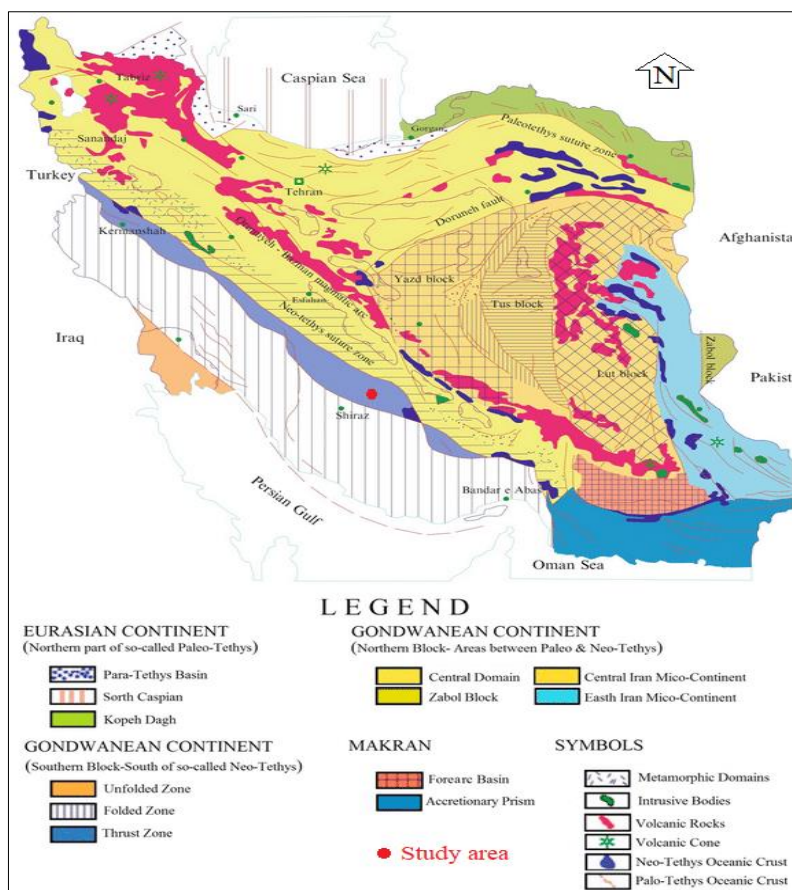
زاده و شمس الدینی، ۱۳۹۹؛ امامی و چوپان، ۱۳۹۹؛ یونسی و همکاران، ۱۳۹۹؛ سالاری و همکاران، ۱۴۰۰؛ Alharbi et al, 2021؛ Kazemi et al, 2022؛ Al-Mallah et al, 2022؛ Shahid et al, 2022) اشاره کرد.

در کشور ما در شرایط فعلی، به علت رشد ناهمگون جمعیت و فعالیت های اقتصادی و تأثیر آن بر روی کمیت و کیفیت منابع آب از یک سو و ضعف شبکه های پایش و اندازه گیری متغیرهای شاخص از سوی دیگر، مدیریت کمیت و کیفیت منابع آب با چالش های جدی روبرو است. برای رهایی از وضع موجود، مطالعه دقیق منابع آب و تعیین آلاینده منابع برای پیشگیری و کنترل آلودگی آب و استفاده بهینه از منابع آب محدود موجود، ضروری است.

جمعیت های روستایی در مناطق خشک و نیمه خشک اصولاً در مجاورت منابع آب های زیرزمینی شکل گرفته اند (بوچانی و همکاران، ۱۳۹۶) و منابع آب های زیرزمینی نقشی حیاتی در تأمین مصارف شهر و کشاورزی این سکونتگاه ها دارند (سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۳۹۲). ارزیابی مستمر کمی و کیفی منابع آب در دسترس جوامع روستایی به منظور استفاده بهینه و اقتصادی از آن ها، منجر به شناخت جامع و کافی از خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه های آبریز شده و در نهایت کاهش فقر و مهاجرت و افزایش سطح درآمد و رفاه ساکنان آن منطقه را در پی دارد (مقامی مقیم و تقی پور، ۱۳۹۸؛ بوچانی و همکاران، ۱۳۹۶). در ساختگاه سد شهید مطالعات



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (Chamanzadeh et al, 2016-a)



شکل ۲- موقعیت تقریبی سد شهید (دایره قرمز) در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران (آقائباتی، ۱۳۸۵)

۲-۲ روش تحقیق

روش انجام این پژوهش به سه بخش مطالعات دفتری، پژوهش‌های نرم‌افزاری و مطالعات دفتری نهایی تقسیم می‌شود. در ابتدا با مطالعه منابع مختلف و بررسی نقشه‌ها و طرح‌های مشابه، اطلاعات اولیه تهیه شد. پارامترهای کیفی مورد بررسی در این مطالعه شامل $Mg, Ca, Na, K, HCO_3, SO_4, Cl, TDS$ و EC است که از تعداد ۱۰ گمانه در ساختگاه سد شهید اخذ شده است.

به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی سد شهید از تعیین همبستگی بین پارامترها، بررسی تیپ آب زیرزمینی با استفاده از نمودارهای پایپر (Piper)، درو (Durov)، استیف (Stiff)، نسبت‌های یونی ژئوشیمیایی، فرآیندهای یونی و عکس تبادل یونی استفاده شد. جهت تهیه نمودارهای مربوطه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای RockWorks17 و Minitab16 استفاده شده است.

۳- بحث و نتایج

۳-۱ توصیف شیمیایی نمونه‌ها

توصیف آماری پارامترهای کیفی مورد بررسی در این مطالعه $(Ca, Mg, Na, K, HCO_3, SO_4, Cl, TDS, EC)$ که از تعداد ۱۰ گمانه در ساختگاه سد شهید اخذ شده در جدول (۱) ارائه شده است. به‌منظور ارائه مقایسه آماری منابع آب، پارامترهای آماری میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار داده‌های شیمیایی نمونه‌ها محاسبه شده‌اند. بر اساس جدول (۱) فراوانی عناصر اصلی موجود در آب‌های زیرزمینی منطقه شامل $(TDS > HCO_3 > Ca > SO_4 > Cl > Mg > Na > K)$ است. با توجه به مقادیر میانگین پارامترهای کیفی آب، می‌توان نتیجه گرفت که تیپ غالب آب زیرزمینی در ساختگاه سد شهید به احتمال فراوان، بی‌کربنات کلسیک است که علت آن هم وجود سازندهای آهکی سورمه در محل تغذیه-ی آبخوان است.

میانگین فراوانی بی‌کربنات (HCO_3) $141/4$ ppm است که بیشینه‌ی آن $198/3$ ppm و کمترین آن $70/2$ ppm است و از نظر اسیدیته آب منطقه در طیف قلیایی قرار گرفته است. منشأ بی‌کربنات منطقه به انحلال سنگ‌های کربناته (سازند سورمه) و کانی‌های مختلف کربنات سدیم منطقه بر می-

گردد. میانگین فراوانی سولفات (SO_4) ppm ۲۰/۳۶ و بیشینه‌ی آن ppm ۶۸/۹ و کمترین آن ppm ۷ است. میانگین فراوانی کلر (Cl) در این مطالعه ppm ۱۷/۷۲ و بیشینه‌ی آن ppm ۳۱/۹ و کمترین آن ppm ۷/۱ است. غلظت حداکثر کلر در آب آشامیدنی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر (ppm) بر اساس سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2017) توصیه می‌شود که مقدار این عنصر در مطالعه حاضر در محدوده‌ی استاندارد قرار دارد (جدول ۲). منشأ اصلی کلر آب‌های طبیعی کانی‌هالیت است. میانگین فراوانی کلسیم (Ca) ppm ۲۹/۷۴ و بیشینه‌ی آن ppm ۵۶/۱ و کمترین آن ppm ۲ است. کلسیم از کاتیون‌های اصلی آب‌های زیرزمینی و سطحی است و می‌تواند از سازندهای آهکی - دولومیتی منشأ گیرد. میانگین فراوانی منیزیم (Mg) ppm ۱۵/۶۲ و بیشینه‌ی آن ppm ۲۹/۲ و کمترین آن ppm ۲/۴ است. میانگین فراوانی سدیم (Na)

گردد. میانگین فراوانی سولفات (SO_4) ppm ۲۰/۳۶ و بیشینه‌ی آن ppm ۶۸/۹ و کمترین آن ppm ۷ است. میانگین فراوانی کلر (Cl) در این مطالعه ppm ۱۷/۷۲ و بیشینه‌ی آن ppm ۳۱/۹ و کمترین آن ppm ۷/۱ است. غلظت حداکثر کلر در آب آشامیدنی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر (ppm) بر اساس سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2017) توصیه می‌شود که مقدار این عنصر در مطالعه حاضر در محدوده‌ی استاندارد قرار دارد (جدول ۲). منشأ اصلی کلر آب‌های طبیعی کانی‌هالیت است. میانگین فراوانی کلسیم (Ca) ppm ۲۹/۷۴ و بیشینه‌ی آن ppm ۵۶/۱ و کمترین آن ppm ۲ است. کلسیم از کاتیون‌های اصلی آب‌های زیرزمینی و سطحی است و می‌تواند از سازندهای آهکی - دولومیتی منشأ گیرد. میانگین فراوانی منیزیم (Mg) ppm ۱۵/۶۲ و بیشینه‌ی آن ppm ۲۹/۲ و کمترین آن ppm ۲/۴ است. میانگین فراوانی سدیم (Na)

۱۶۰ است. مقایسه میانگین نتایج آنالیز شیمیایی آب‌های زیرزمینی سد با استانداردهای ملی (کمیته ملی استاندارد غذا و کشاورزی، ۱۳۸۶، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰) و سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2017) انجام شده که به صورت جدول (۲) ارائه شده است. بر اساس این جدول، پارامترهای شیمیایی آب در تمامی موارد از لحاظ شرب شرایط مطلوبی دارد.

جدول ۱- توصیف آماری پارامترهای کیفی برای ۱۲ نمونه آب زیرزمینی

پارامترها	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
Ca (ppm)	۲	۵۶/۱	۲۹/۷۴	۱۳/۳۴
Mg (ppm)	۲/۴	۲۹/۲	۱۵/۶۲	۶/۶۸
Na (ppm)	۲/۱	۳۱/۱	۹/۷۲	۸/۰۴
K (ppm)	۰/۲	۲۵	۳/۳۹	۶/۸۵
HCO ₃ (ppm)	۷۰/۲	۱۹۸/۳	۱۴۱/۴	۳۷/۵
SO ₄ (ppm)	۷	۶۸/۹	۲۰/۳۶	۱۷/۷۶
Cl (ppm)	۷/۱	۳۱/۹	۱۷/۷۲	۸/۴۱
TDS (ppm)	۱۰۹	۲۳۵	۱۹۴/۱	۳۷/۹
EC (μmho/cm)	۱۶۰	۳۷۷	۲۹۹	۶۰/۸

جدول ۲- میانگین نتایج آنالیز شیمیایی آب‌های زیرزمینی ساختگاه سد شهید و مقایسه با استانداردهای ملی و جهانی (واحدها بر حسب ppm)

So ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca	HCO ₃	EC (μmhos/cm)	TDS	
۲۰/۳۶	۱۷/۷۲	۹/۷۲	۳/۳۹	۱۵/۶۲	۲۹/۷۴	۱۴۱/۴	۲۹۹	۱۹۴/۱	مخزن سد شهید
۴۰۰	۴۰۰	۲۰۰	-	۱۵۰	۲۰۰	-	۲۰۰۰	۱۵۰۰	استاندارد ملی
۵۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۱۲	۵۰	۷۵	۱۵۰	۱۵۰۰	۵۰۰	WHO (2017)

۲-۳ ضریب همبستگی و نسبت‌های یونی منظور از TDS کل مواد جامد محلول در آب (Total Dissolved Solids) است که برابر مجموع غلظت همه یون‌های موجود در آب است. هدایت الکتریکی آب (Electrical Conductivity) معرف قدرت یونی یک محلول برای انتقال جریان برق است. هر چه میزان جریان برق بیشتری از آب عبور کند، هدایت الکتریکی آب بالاتر است و نشان می‌دهد که آب دارای یون‌های بیشتری است. آب خالص به دلیل نداشتن یون، جریان برق را از خود عبور نمی‌دهد. هدایت الکتریکی آب خالص در دمای ۲۵ درجه

۲-۳ ضریب همبستگی و نسبت‌های یونی منظور از TDS کل مواد جامد محلول در آب (Total Dissolved Solids) است که برابر مجموع غلظت همه یون‌های موجود در آب است. هدایت الکتریکی آب (Electrical Conductivity) معرف قدرت یونی یک محلول

مستقیم و با همبستگی بالایی (۰/۹۷) بین EC و TDS وجود دارد و با در اختیار داشتن میزان هدایت الکتریکی با تقریب بسیار خوبی می‌توان محتوای مواد محلول را برآورد کرد در حالی که بین سایر پارامترها، همبستگی ضعیفی وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان عنوان کرد که رابطه‌ی HCO_3 با EC، TDS و سایر پارامترها، همبستگی بالاتری دارد.

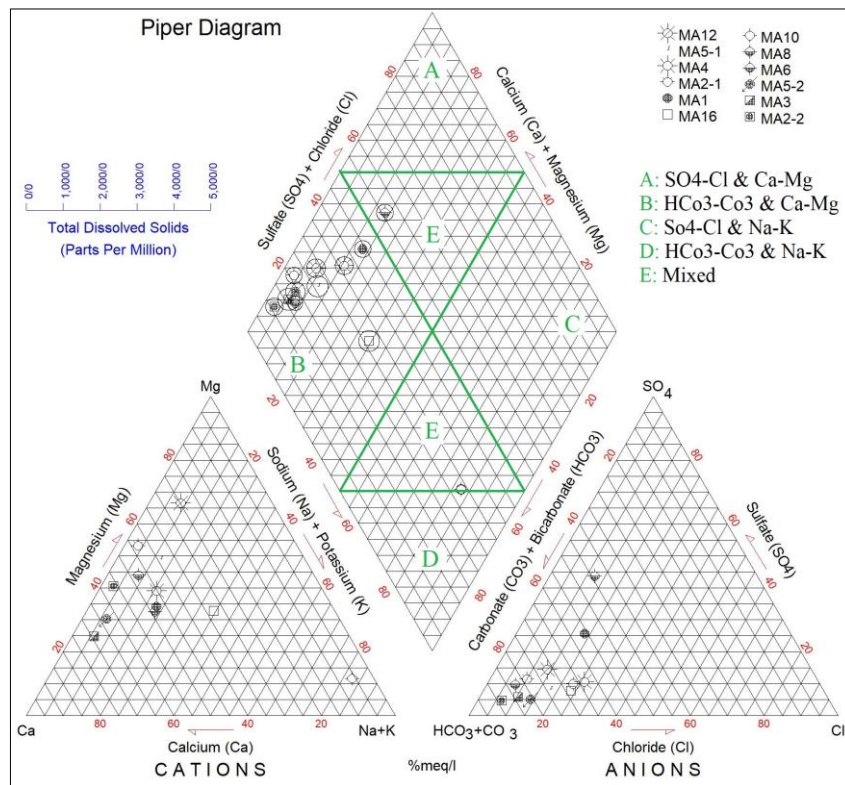
سلسیوس برابر با $0/056 \mu\text{mho/cm}$ است. هر چه آب دارای یون‌های بیشتری باشد میزان عدد EC بیشتری خواهد داشت. به‌عنوان نمونه آب‌های چشمه‌های طبیعی EC در محدوده ۲۰۰ دارند و آب لوله‌کشی شهری EC در محدوده ۷۰۰ و آب دریا EC در محدوده ۴۰۰۰۰ دارند. در جدول (۳) ضریب همبستگی بین پارامترهای شیمیایی نمونه‌ها آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که رابطه‌ی

جدول ۳- ضریب همبستگی بین پارامترهای شیمیایی نمونه‌ها

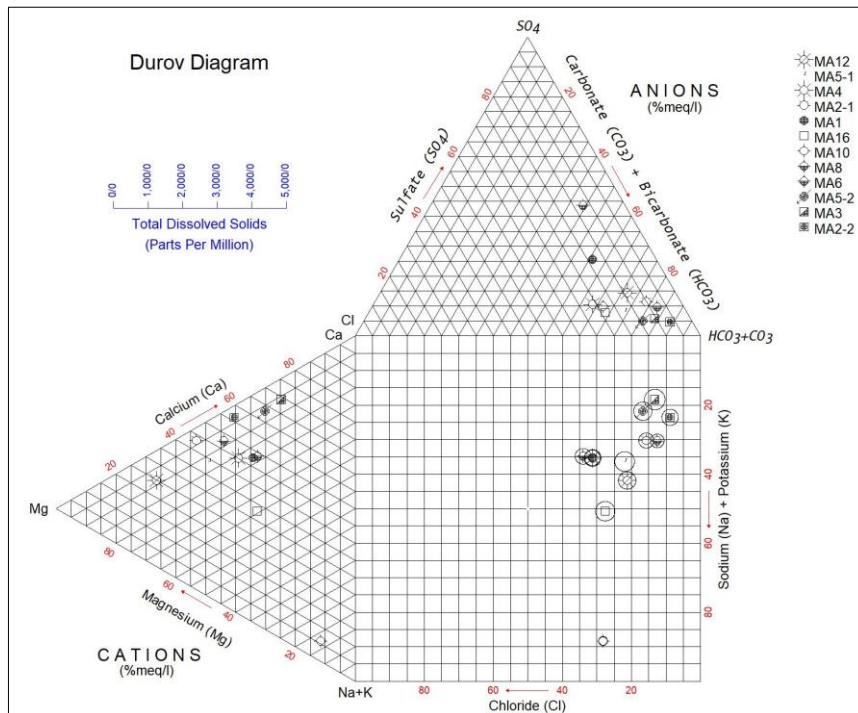
	EC	TDS	Cl	So ₄	HCO ₃	K	Na	Mg	Ca
Ec	۱								
TDS	۰/۹۷۶	۱							
Cl	۰/۲۴۲	۰/۳۱۸	۱						
So ₄	۰/۰	۰/۰	۰/۰۰۲	۱					
HCO ₃	۰/۵۹۶	۰/۵۲۴	۰/۰۰۲	-۰/۲۴۴	۱				
K	۰/۰۶۵	۰/۰۸۲	۰/۲۹۲	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۱			
Na	-۰/۲۱۵	-۰/۱۷۳	۰/۱۱۹	۰/۰۰۲	-۰/۴۸۸	۰/۱۰۳	۱		
Mg	۰/۳۵۱	۰/۳۶۵	۰/۰۲۹	۰/۰	۰/۲۹	۰/۰	-۰/۳۲	۱	
Ca	۰/۴۵۸	۰/۳۸	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۶	۰/۵۶۳	-۰/۰۱۸	-۰/۴۳۳	۰/۰۰۹	۱

CO_3 و کاتیون‌های Ca و Mg غالب هستند و آب‌های شیرین دارای سختی موقت را نشان می‌دهند. در شکل (۴) نمودار درو (Durov) برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است. با توجه به پراکندگی نمونه‌ها در قسمت‌های مربع و مثلثی نمودار درو می‌توان چنین نتیجه گرفت که تیپ غالب آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی بی-کربنات کلسیک است. همچنین الگوی پراکندگی نمونه‌ها در این دو قسمت نشان می‌دهد که تنوع رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی در ساختگاه سد شهید وجود دارد. به-طوری که می‌توان از رخساره‌ی Ca-Mg-HCO_3 که از لحاظ سختی در رده‌ی سبک قرار دارد تا رخساره‌ی Na-HCO_3 با Cl سختی نسبتاً زیاد را مشاهده کرد. توزیع پراکندگی نمونه‌ها در قسمت مربع نمودار حاکی از آن است که تقریباً اکثر نمونه‌ها رخساره‌های آب‌های شیرین را دارند.

۳-۳ بررسی تیپ آب‌های زیرزمینی با استفاده از نمودارهای پایپر (Piper)، درو (Durov) و استیف (Stiff) جهت ساده‌سازی بررسی و تحلیل کیفیت آب و کشف رابطه‌ی بین پارامترهای کیفی آب، استفاده از روش‌های گرافیکی نظیر ارائه‌ی نمودارها مرسوم است (Hounslow, 1995). برای شناسایی رخساره‌های ژئوشیمیایی، تیپ آب و مسیر تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان‌ها از نمودار پایپر استفاده می‌شود (Hatefi et al, 2007). در شکل (۳) توزیع نمونه‌ها بر روی نمودار پایپر نمایش داده شده است. به‌منظور تحلیل بهتر نتایج، نمودار به پنج بخش سختی دائم (A)، سختی موقت (B)، آب شور (C)، قلیایی کربناتی (D) و مختلط (E) تقسیم شده است (Todd and Mays, 2005). همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود اکثر نمونه‌ها در بخش سختی موقت (B) قرار گرفته‌اند. در این بخش آنیون‌های HCO_3 و



شکل ۳- نمودار پایپر برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



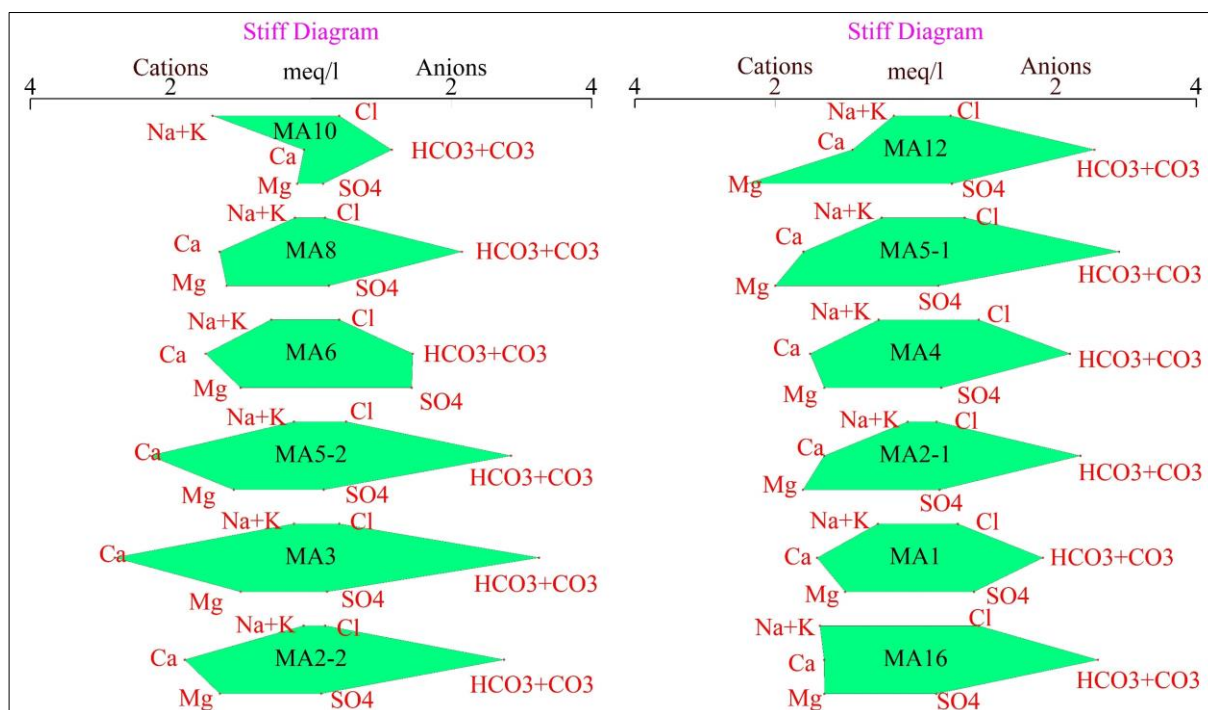
شکل ۴- نمودار درو برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

عدد صفر و آنیون‌ها در سمت راست عدد صفر) پیاده می‌شوند. با اتصال نقاط به دست آمده به هم شکل‌های مشخصی

در نمودار استیف نتایج تجزیه شیمیایی آب بر حسب اکی‌والان در لیتر بر روی محور افقی (کاتیون‌ها در سمت چپ

نمودارهای استیف برای تمام نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است. بر اساس الگوهای ایجاد شده در این نمودار، رخساره‌ی غالب نمونه‌ها، رخساره‌ی بی‌کربنات کلسیک است ولی رخساره‌های بی‌کربنات سدیک و بی-کربنات منیزیم نیز در نمونه‌ها دیده می‌شود.

به وجود می‌آید که از لحاظ مقایسه سریع تعداد زیادی از نمونه‌ها بسیار مفید هستند (Hounslow, 1995). در نمودار استیف کلسیم در مقابل بی‌کربنات + کربنات، منیزیم در مقابل یون سولفات، سدیم و پتاسیم در برابر کلر قرار می‌گیرند. هرچه مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌ها از نظر مقدار به هم نزدیک باشند شکل حاصل منظم‌تر خواهد بود. در شکل (۵)



شکل ۵- نمودار استیف برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

جدول (۴) مقادیر نسبت (Na / Cl) در ۱۱ نمونه کمتر از ۰/۵ است و نشان‌دهنده‌ی تبادل یونی معکوس است. همچنین نسبت (Na / Na+Cl) نیز در ۱۱ نمونه کمتر از ۰/۵ است که نشان‌دهنده‌ی تبادل یونی معکوس و یا ورود آب از منبع حاوی کلر از جمله شورآبه به منطقه مورد بررسی است. نسبت (Cl / HCO₃+Cl) مؤلفه‌ی مناسبی برای تشخیص آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌وسیله‌ی آب دریا یا آب‌های شور فسیلی است (Hounslow, 1995). در تمام نمونه‌ها این نسبت کمتر از یک است و این موضوع نشان‌دهنده‌ی تغذیه آب زیرزمینی توسط سازندهای آهکی است. نسبت (Cl / Sum Anions) خیلی کم و در اکثر نمونه‌ها نزدیک به صفر است که مبین هوازدگی سنگ‌ها است. با بررسی نسبت (Ca / Mg) می‌تواند بین واحدهای آهکی و دولومیتی تفکیک ایجاد کرد. همچنین با استفاده از این نسبت می‌توان جهت

۳-۴ استفاده از نسبت‌های یونی ژئوشیمیایی برای تعیین منشأ املاح و رسوبات یکی از کاربردهای اصلی استفاده از نسبت‌های یونی تعیین منشأ املاح و رسوبات است. این نسبت‌ها متأثر از ترکیب شیمیایی کانی‌های محلول در آب هستند و مقدار کانی انحلال یافته در درجه‌ی بعدی اهمیت قرار می‌گیرند. در جدول (۴) نتایج تعدادی از نسبت‌های یونی پرکاربرد برای نمونه‌های مورد بررسی ارائه شده است. مقادیر نسبت (Na / Cl) اطلاعات مفیدی در زمینه‌ی منشأ یون کلر با سدیم به دست می‌دهد، به‌طوری که اگر این نسبت برابر با ۱ باشد منشأ سدیم از کانی هالیت است. در صورتی که میزان غلظت یون سدیم کمتر از کلر باشد، نشان‌دهنده‌ی تبادل یونی معکوس است (Gibbs, 1970). اگر میزان غلظت سدیم بیشتر از کلر باشد، منشأ سدیم غیر از هالیت و احتمالاً از پلاژیوکلاز آلپیت یا تبادل یونی طبیعی است. بر اساس

قابل شناسایی است. در ده نمونه این نسبت کمتر از ۰/۵ بوده که نمایانگر هوازدگی سنگ‌های آهکی است و در دو نمونه نیز این نسبت بیش از ۰/۵ است که نشان‌دهنده انحلال دولومیت یا خارج شدن کلسیم بر اثر رسوب‌گذاری کلسیت است. نسبت $(Ca / Ca+So_4)$ در اکثر نمونه‌ها بیش از ۰/۵ است که مبین وجود منبع کلسیم دیگری غیر از سازندهای کربنات در منطقه است (جدول ۴).

شناسایی واپاشی خاک و کاهش تدریجی عملکرد آن استفاده کرد. در دو نمونه این نسبت کمتر از یک است و واپاشی خاک و کاهش تدریجی عملکرد آن را نشان می‌دهد. در هشت نمونه هم این نسبت بین یک تا سه است که حاکی از تغذیه‌ی آب زیرزمینی توسط سازندهای آهکی - دولومیتی است. هوازدگی و انحلال سنگ‌های آهکی و دولومیتی و رسوب‌گذاری کلسیت با استفاده از نسبت $(Mg / Ca+Mg)$

جدول ۴- میزان نسبت‌های یونی در منطقه مورد مطالعه

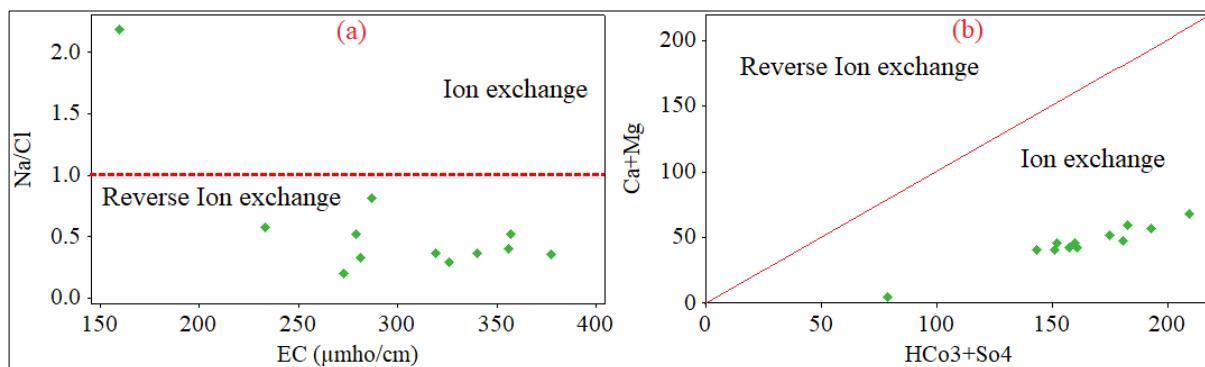
گمانه	Na/Na+Cl	Na/Cl	Cl/HCO ₃ +Cl	Cl/Sum Anions	Ca/Mg	Mg/Ca+Mg	Ca/Ca+So ₄
MA12	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۱	۰/۰۱	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۴۲
MA5-1	۰/۲۸	۰/۴	۰/۱۲	۰/۰۱	۱/۳۲	۰/۴۳	۰/۶۷
MA4	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۱۹	۰/۰۱۴	۱/۹۰	۰/۳۴	۰/۶۳
MA2-1	۰/۱۶	۰/۲	۰/۰۷	۰/۰۰۵	۱/۳۴	۰/۴۲	۰/۶۱
MA1	۰/۳۴	۰/۵۲	۰/۱۶	۰/۰۱	۲/۳۰	۰/۳۰	۰/۴۱
MA16	۰/۳۴	۰/۵۲	۰/۱۸	۰/۰۱۵	۱/۶۵	۰/۳۸	۰/۶۵
MA10	۰/۶۸	۲/۱۹	۰/۱۷	۰/۰۰۶	۰/۸۳	۰/۵۴	۰/۲
MA8	۰/۳۷	۰/۵۸	۰/۰۵	۰/۰۰۳	۱/۷۹	۰/۳۶	۰/۶۸
MA6	۰/۴۵	۰/۸۱	۰/۱۴	۰/۰۰۶	۲/۴۶	۰/۲۹	۰/۳۰
MA5-2	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۰۹	۰/۰۰۹	۳/۴۴	۰/۲۲	۰/۸۴
MA3	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۰۷	۰/۰۰۶	۴/۶	۰/۱۸	۰/۸۳
MA2-2	۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۰۴	۰/۰۰۳	۲/۲۸	۰/۳۰	۰/۸۳

نشان‌دهنده انحلال هالیت، یا اختلاط آب با شورآبه‌های نفتی یا عمیق است. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود بر اساس نمودار (Na / Cl) در مقابل (EC) در ۱۱ نمونه تبادل یونی معکوس رخ داده است و بنابراین تنها یک نمونه منشأ دوگانه از رسوبات رسی و نفوذ آب شور دارد (تبادل یونی). نمودار $Ca+Mg$ در مقابل HCO_3+So_4 جهت بررسی هم‌زمان تبدلات کلسیم و منیزیم در آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نمودار در صورت قرارگیری نمونه‌ها در خط تعادل (خط ۱:۱)، نشان‌دهنده هم‌زمانی فرآیند انحلال کلسیت، دولومیت و ژپس در این منابع است. موقعیت قرارگیری در پایین خط نشانگر فرآیند تبادل یونی و موقعیت بالای خط نشانگر غالب بودن فرآیند تبادل یونی معکوس است (Jankowski et al., 1998). بر اساس نمودار $Ca+Mg$ در مقابل HCO_3+So_4 تمامی نمونه‌ها تبادل یونی طبیعی را نشان می‌دهند (شکل ۶).

۵-۳ فرآیندهای یونی و عکس تبادل یونی

به‌طور کلی به انتقال یون‌ها از فاز جامد (کانی‌ها) به فاز محلول (آب) فرآیند تبادل یونی گفته می‌شود (Hounslow, 1995). به‌منظور بررسی فرآیند تبادل یونی در این مطالعه از دو نمودار چند متغیره‌ی مرسوم شامل نسبت (Na / Cl) در مقابل EC و $Ca+Mg$ در مقابل HCO_3+So_4 استفاده شده است (شکل ۶).

محور عمودی در نمودار (Na / Cl) در مقابل (EC) ، نسبت مقادیر سدیم به کلر است و در صورت انحلال هالیت این نسبت برابر یک بوده و داده‌ها بر روی خط قرار می‌گیرند. نمونه‌هایی که در بالای خط قرار دارند متأثر از تبادل یونی بوده و در مورد نمونه‌هایی که پایین خط قرار گرفته‌اند تبادل یونی معکوس دارند و یا حاصل اضافه شدن کلر از سایر منابع هستند. از کاربردهای دیگر این نمودار امکان بررسی میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها است. نمونه‌هایی که مقادیر هدایت الکتریکی آن‌ها بیشتر از $5000 \mu mho/cm$ باشند،



شکل ۶- نمودارهای تبادل یونی و عکس تبادل یونی برای نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

اکثر نمونه‌ها رخساره‌ی آب‌های شیرین را دارند. ۶- بر اساس نمودار استیف (Stiff) رخساره‌ی غالب نمونه‌ها، رخساره‌ی بی‌کربنات کلسیک است ولی رخساره‌های بی‌کربنات سدیک و بی‌کربنات منیزیم نیز در نمونه‌ها دیده می‌شود.

۷- نسبت (Na / Cl) در ۱۱ نمونه کمتر از ۰/۵ است و نشان‌دهنده‌ی تبادل یونی معکوس است. همچنین نسبت $(Na / Na+Cl)$ نیز در ۱۱ نمونه کمتر از ۰/۵ است که نشان‌دهنده‌ی تبادل یونی معکوس و یا ورود آب از منبع حاوی کلر از جمله شورآبه به منطقه مورد بررسی است. در تمام نمونه‌ها نسبت (Cl / HCO_3+Cl) کمتر از یک است و این موضوع نشان‌دهنده‌ی تغذیه آب زیرزمینی توسط سازندهای آهکی است. نسبت $(Cl / \text{Sum Anions})$ خیلی کم و در اکثر نمونه‌ها نزدیک به صفر است که مبین هوازنگی سنگ‌ها است. در دو نمونه نسبت (Ca / Mg) کمتر از یک است و واپاشی خاک و کاهش تدریجی عملکرد آن را نشان می‌دهد. در هشت نمونه هم این نسبت بین یک تا سه است که حاکی از تغذیه‌ی آب زیرزمینی توسط سازندهای آهک - دولومیتی است. در ده نمونه نسبت $(Mg / Ca+Mg)$ کمتر از ۰/۵ بوده که نمایانگر هوازنگی سنگ‌های آهکی است و در دو نمونه نیز این نسبت بیش از ۰/۵ است که نشان‌دهنده‌ی انحلال دولومیت یا خارج شدن کلسیم بر اثر رسوب‌گذاری کلسیت است. نسبت $(Ca / Ca+So_4)$ در اکثر نمونه‌ها بیش از ۰/۵ است که مبین وجود منبع کلسیم دیگری غیر از سازندهای کربنات در منطقه است.

۸- بر اساس نمودار (Na / Cl) در مقابل (EC) در ۱۱ نمونه تبادل یونی معکوس رخ داده است و بنابراین تنها یک نمونه منشأ دوگانه از رسوبات رسی و نفوذ آب شور دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه با به‌کارگیری روش‌های هیدروژئوشیمیایی و ارائه‌ی نمودارهای مربوطه به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در ساختگاه سد شهید پرداخته شد که نتایج این مطالعه به شرح زیر ارائه می‌شود:

۱- فراوانی عناصر اصلی موجود در آب‌های زیرزمینی منطقه شامل $(TDS > HCO_3 > Ca > So_4 > Cl > Mg > Na > K)$ است.

۲- مقایسه میانگین نتایج آنالیز شیمیایی آب‌های زیرزمینی سد با استانداردهای ملی و سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که پارامترهای شیمیایی آب در تمامی موارد از لحاظ شرب شرایط مطلوبی دارند.

۳- نتایج نشان می‌دهد که رابطه‌ی مستقیم و با همبستگی بالایی (۰/۹۷) بین EC و TDS وجود دارد در حالی که بین سایر پارامترها، همبستگی ضعیفی وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان عنوان کرد که رابطه‌ی HCO_3 با EC ، TDS و سایر پارامترها، همبستگی بالاتری دارد.

۴- بر اساس نمودار پایپر (Piper) اکثر نمونه‌ها در بخش سختی موقت (B) قرار گرفته‌اند و آب‌های شیرین دارای سختی موقت را نشان می‌دهند.

۵- بر اساس نمودار درو (Durov) تیپ غالب آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی بی‌کربنات کلسیک است. همچنین الگوی پراکندگی نمونه‌ها در این نمودار نشان می‌دهد که تنوع رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی در ساختگاه سد شهید وجود دارد. به‌طوری که می‌توان از رخساره‌ی $Ca-Mg-HCO_3$ که از لحاظ سختی در رده‌ی سبک قرار دارد تا رخساره‌ی $Na-HCO_3-Cl$ با سختی نسبتاً زیاد را مشاهده کرد. توزیع پراکندگی نمونه‌ها در این نمودار حاکی از آن است که تقریباً

کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و عوامل تأثیرگذار بر آن (مطالعه موردی: روستاهای بخش مرکزی شهرستان بندرلنگه)، راهبردهای توسعه روستایی، شماره ۱، ص ۱۲۳-۱۴۰.

- سلیمانی ساردو، م.، ولی، ع.، قضاوی، ر.، سعیدی گراغانی، ح.، (۱۳۹۲)، "آنالیز و روندیابی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب؛ مطالعه موردی رودخانه چم انجیر خرم آباد"، نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره ۴، ص ۹۵-۱۰۵.

- کارخانه، ط.، ساریخانی، ر.، قاسمی دهنوی، آ.، (۱۳۹۴)، "بررسی آماری نسبت‌های یونی و شاخص‌های اشباع در تعیین منشأ املاح منابع آب زیرزمینی دشت دلفان"، فصلنامه زمین-شناسی محیط‌زیست، شماره ۳۳، ص ۷۷-۹۲.

- کریمی، ش.، ولی‌الهی، ج.، عبادتی، ن.، صیادی، م.، (۱۳۹۴)، "بررسی پتانسیل کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی روستاهای شهرستان رباط‌کریم"، فصلنامه زمین‌شناسی محیط‌زیست، شماره ۳۱، ص ۱۵-۲۶.

- کمیته ملی استاندارد غذا و کشاورزی، (۱۳۸۶)، "میکروبیولوژی آب آشامیدنی (ICS:13.60.20)، استاندارد ۱۰۱۱"، چاپ ششم، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ایران.

- کمیته ملی استاندارد غذا و کشاورزی، (۱۳۸۸)، "مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی (ICS:13.60.20)، استاندارد ۱۰۵۳"، چاپ پنجم، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ایران.

- کمیته ملی استاندارد غذا و کشاورزی، (۱۳۹۰)، "مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی (ICS:13.60.20)، استاندارد ۱۰۵۳-الف"، چاپ ششم، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ایران.

- مریدی، ع.، کراچیان، ر.، ذکایی، م.، (۱۳۹۵)، "تحلیل وضعیت کیفیت منابع آب ایران (دوره ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳)"، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۴، ص ۲۳-۳۵.

- مقامی مقیم، غ.، تقی‌پور، ع.، (۱۳۹۸)، "بررسی عوامل مؤثر در تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی دشت صفی‌آباد شهرستان اسفراین"، مهندسی اکوسیستم بیابان، شماره ۲۲، ص ۲۷-۴۲.

- نجاتی جهرمی، ز.، ناصری، ح.، نخعی، م.، علیجانی، ف.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان ورامین از

۹- بر اساس نمودار Ca+Mg در مقابل HCO_3+SO_4 ، تمامی نمونه‌ها تبادل یونی طبیعی را نشان می‌دهند.

منابع

- ابراهیمی مقدم، ف.، عباس‌نژاد، ا.، (۱۳۹۹)، "ارزیابی هیدروژئوشیمیایی، کیفیت آب زیرزمینی و غلظت آرسنیک دشت سیرجان با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و AqQa"، فصلنامه زمین-شناسی محیط‌زیست، شماره ۵۱، ص ۱۱-۲۴.

- امامی، س.، چوپان، ی.، (۱۳۹۹)، "استفاده از روش‌های نوین هوش مصنوعی در بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت سلماس)"، فصلنامه زمین‌شناسی محیط‌زیست، شماره ۵۰، ص ۳۹-۵۵.

- آقائاتی، س.ع.، (۱۳۸۵)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۷۰۸.

- بوچانی، م.، افراسیابی، م.، یوسفی، ح.، عبادتی، ن.، (۱۳۹۶)، "تأثیر منابع آب در توسعه پایدار نواحی روستایی بخش زروماهروی شهرستان الیگودرز"، اکوهیدرولوژی، شماره ۱، ص ۱۳-۲۷.

- حسن‌زاده، ف.، شمس‌الدینی، م.، (۱۳۹۹)، "بررسی کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی روستاهای اطراف معدن مس درآلو از نظر آنیون‌ها و وجود عناصر سنگین"، فصلنامه زمین‌شناسی محیط‌زیست، شماره ۵۰، ص ۱-۱۵.

- خالقی، ف.، (۱۳۹۹)، "ارزیابی کیفیت آب شرب منطقه هشترو با استفاده از متغیرهای هیدروشیمیایی و نگرش زیست‌محیطی"، فصلنامه زمین‌شناسی محیط‌زیست، شماره ۵۱، ص ۴۵-۵۶.

- رحیمی شهید، م.، رحیمی، ن.، (۱۳۹۵)، "بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی در ساخت سدها"، فصلنامه زمین‌شناسی محیط‌زیست، شماره ۳۵، ص ۷۹-۸۸.

- رستگاریا، ا.، کرمی، م.، غفوری، م.، (۱۳۹۸)، "بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب در ساختگاه سد بازفت"، مجله آب و خاک، شماره ۲، ص ۲۵۹-۲۷۴.

- سالاری، ا.، حیدرزاده، م.، قشقایی‌زاده، ن.، (۱۴۰۰)، "ارزیابی

in groundwater levels in the study area Bajestan Yunesi, The Ministry of Energy", Iran Water Resources Management Company.

- **Hounslow, A., (1995)**, "Water quality data: analysis and interpretation", CRC press.

- **Jankowski, J., Acworth, R.I., Shekarforoush, S., (1998)**, Reverse ion-exchange in deeply weathered porphyritic dacite fractured aquifer system, Yass, New South Wales, Australia. In: Arehart, G. B., Hulston, J. R. (eds), Proc. 9th Int. Symp, Water-Rock interaction. Taupo, New Zealand, Balkema, Rotterdam, 243-246.

- **Kazemi, A., Esmailbeigi, M., Sahebi, Z., Joorabian Shooshtari, Sh., (2022)**, "Hydrochemical evaluation of groundwater quality and human health risk assessment of trace elements in the largest mining district of South Khorasan, Eastern Iran", Environmental Science and Pollution Research.

- **Rahimi Shahid, M., Ghasvareh, M.A., Lashkaripour, G.R., (2022)**, "Investigation the water quality of Khersan 2 dam underground using multivariate statistical analysis", Journal of Irrigation and Water Engineering, 12(2): pp. 255-270.

- **Rahimi Shahid, M., Kargaran bafghi, F., Moosavi, S., Rahimi, N. (2016)**, "Engineering geological assessment of the Shahid dam site (Semirom, Iran)", Journal of Geotechnical Geology, 12(2): pp. 193-205.

- **Rahimi Shahid, M., Kargaran, F., Rahimi, N., (2019)**, "Seismicity and Seismic Hazard Analysis of Shahid Dam Site", Journal of Geographic Space, 64, pp. 121-140.

- **Todd, D.K., Mays, L.W., (2005)**, "Groundwater Hydrology", 3rd ed. New York: John Wiley & Sons Press.

- **WHO, (2017)**, "Guidelines for drinking-water quality", 4th Edition, World Health Organization, ISBN: 978 92 4 154815, Malta, <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es304955g>.

نظر قابلیت شرب: آلودگی با فلزات سنگین"، سلامت و محیط زیست، شماره ۴، ص ۵۷۲-۵۵۹.

- یونسی، ح.، ارشیا، آ.، ترابی پوده، ح.، شاه‌نژاد، ب.، سیدی پور، م.، وحدت پور، ن.، (۱۳۹۹). "بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های زیرحوضه‌ی جنوبی زاینده‌رود"، نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان، شماره ۲۶، ص ۱۱۵-۱۰۳.

- **Alharbi, T., El-Sorogy, A. S., Qaysi, S., Alshehri, F., (2021)**, "Evaluation of groundwater quality in central Saudi Arabia using hydrogeochemical characteristics and pollution indices", Environmental Science and Pollution Research, 28(38): pp. 53819-53832.

- **Al-Mallah, I.A., Al-Qurnawi, W.S., Ghalib, H.B., Al Hawash A.B., Abdulameer, M.H., (2022)**, "Evaluation of groundwater quality in the Dibdibba aquifer using hydrogeochemical and isotope techniques (Basrah Province, Iraq)", Acta Geochim.

- **Chamanzadeh, A., Moshrefy-Far, M.R., Rahimi Shahid, M., Moosavi, S.M., (2016-a)**, "Grout curtain optimum position design of Shahid dam using RockWork15 software", International Conference on Civil Engineering, Architecture, Urban Management and Environment in the Third Millennium, Rasht, Iran, p.16.

- **Chamanzadeh, A., Moshrefy-Far, M.R., Rahimi Shahid, M., Moosavi, S.M., (2016-b)**, "Statistical analysis of the rock masses permeability in Shahid dam site", International Conference on Civil Engineering, Architecture, Urban Management and Environment in the Third Millennium, Rasht, Iran, p. 12.

- **Gibbs R.J. (1970)**, "Mechanism controlling world water chemistry", Science, 170: pp. 1088-1090.

- **Hatefi, R., Es'haghian, K., Khodaei, S., Shahsavari, A., (2007)**, "Evaluation of groundwater quality trends and determines reason for the decline

Evaluation of groundwater quality at Shahid Dam site using hydrogeochemical methods

Mojtaba Rahimi Shahid^{*1}, Gholam Reza Lashkaripour¹, Nastaran Sadat Hashemian¹ and Naser Ebadati²

1- Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Department of Geology, Faculty of Sciences, Islamic Azad University, Islamshahr Branch, Iran.

* Corresponding Author: Mr619htt@gmail.com.

Abstract

The occurrence of droughts in the past few decades, rising global temperatures, and the exponential growth of population around the world, highlights the need for the quantitative and qualitative study of water resources. On the other hand, the construction of some structures, such as dams, increases the importance of studying the water quality at the construction site of such structures. In this study, using hydrogeochemical methods, the quality of groundwater in the construction site of Shahid Dam (located in the south of Semrom city) was evaluated. For this purpose, the correlation between the parameters was determined, the groundwater type was investigated using diagrams of Piper, Durov, and Stiff, geochemical ion ratios, ionic processes, and ion exchange reverse. The abundance of the main elements in the groundwater of the region includes TDS > HCO₃ > Ca > SO₄ > Cl > Mg > Na > K. The chemical parameters of water in all cases in terms of drinking are favorable. The results show that there is a direct relationship with a high correlation (0.97) between EC and TDS, while a weak correlation was observed between other parameters. In general, it can be said that the relationship between HCO₃ and EC, TDS, and other parameters has a higher correlation. The predominant type of groundwater in the study area is calcium bicarbonate and most of the samples have freshwater facies. According to the diagram (Na / Cl) vs. (EC), reverse ion exchange occurred in 11 samples, and only one sample had a dual origin of clay sediments and saline water intrusion. Based on the Ca + Mg versus HCO₃ + SO₄ diagram, all samples show normal ion exchange.

Key words: South of Semrom city, Correlation coefficient, Ionic processes, Water quality, Ionic ratios.