



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## ارزیابی کیفیت هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی حوزه سیاهو، شمال شرق شهر بندرعباس

مهدی غلام دخت بندری<sup>۱\*</sup>، پیمان رضائی<sup>۲</sup>، زهرا غلام دخت بندری<sup>۳</sup>

۱- اداره مهندسی و مطالعات، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- گروه زمین شناسی و پژوهشکده جنگل های حرا، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳- آزمایشگاه آب و خاک، یزد، ایران

| اطلاعات مقاله:         | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۳۰ | زمینه و هدف: بررسی کیفیت آب گامی مهم در جهت استفاده بهینه و مناسب از منابع آب برای شرب و همچنین انتخاب الگوی کشت مناسب و سازگار با کیفیت آب است. از این رو ضرورت مطالعه ویژگی‌های کیفی آب در برنامه‌های مدیریت منابع آب به شدت مورد توجه قرار گرفته است.                                                                                                                                                       |
| تاریخ ویرایش: ۹۶/۱۱/۲۱ | روش بررسی: در مطالعه حاضر، کیفیت هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی در حوزه سیاهو شهرستان بندرعباس از نظر شرب، کشاورزی و صنعت مطالعه شده است. بدین منظور پارامترهای ویژگی کیفی مربوط به سه چاه عمیق، سه دهنه چشمه، یک رشته قنات آبدار و یک نمونه آب سطحی به‌عنوان داده ورودی استفاده شد. ویژگی‌ها و نمودار تعیین کیفیت آب با استفاده از نرم افزارهای AquaChem و Aq.qa ارزیابی شدند.                             |
| تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۸  | یافته‌ها: آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در رده آب‌های خیلی سخت قرار دارند. براساس نمودار پایپر (PIPER) رخساره هیدروژئوشیمیایی غالب منطقه از نوع سولفات-کلسیک و کلروره‌سدیک هستند. با توجه به شاخص کیفی ویلکاکس (Willcox) و شولر (Schuller) آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در حد متوسط و از نظر شرب در حد قابل قبول قرار گرفت. از نظر ضریب اشباع لانتزلیه (SI)، منابع آبی موجود خورنده تا رسوبگذار است. |
| تاریخ انتشار: ۹۷/۰۳/۳۰ | نتیجه‌گیری: داده‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد یکی از مشکلات منابع آبی موجود در حوزه سیاهو مقدار بالای نمک و مواد محلول بوده، که نشان‌دهنده تأثیر بسزای سازندهای زمین‌شناسی (تبخیری، شیلی، کربناتی) و گنبد نمکی بر منابع آب زیرزمینی و کاهش کیفیت منابع آب است.                                                                                                                                                  |

واژگان کلیدی: آب شرب، کیفیت آب، شاخص هیدروژئوشیمیایی، بندرعباس

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
[Gholamdokht.bandari@yahoo.com](mailto:Gholamdokht.bandari@yahoo.com)

## مقدمه

افزایش جمعیت و افزایش نیاز آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب فشار زیادی به منابع آب زیرزمینی ایران وارد کرده است. با عبور آب از لایه‌های مختلف خاک و سازندهای موجود در مسیر حرکت آب از بالادست به پایین دست، کیفیت آب‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد (۱). انحلال کانی‌های سازنده خاک شامل: ترکیبات سدیم، پتاسیم و منیزیم و ... که در مسیر حرکت آب زیرزمینی قرار دارند، موجب می‌شود در آب آشامیدنی ایجاد طعم کنند، بطوری‌که آب‌هایی که میزان کلرور آنها بیش از حد است، شور و آب‌های که میزان سولفات سدیم و سولفات منیزیم آنها زیاد است، گس و تلخ مزه‌اند. کلسیم و منیزیم از مهمترین عناصر مورد نیاز بدن هستند، از طرفی غلظت زیاد این فلز موجب سختی آب نیز می‌شود (۲). غلظت زیاد نیترات در آب باعث بروز بیماری متهموگلوبینا، سیانوزیس نوزادان، اختلالات تنفسی، بیماری‌ها و سرطان‌های گوارشی و ... می‌شود (۳). ارزیابی کیفیت آب با هدف مناسب بودن آن، برای مصرف شرب و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های مختلف انجام می‌شود. رخصاره‌های هیدروشیمیایی جهت نمایش اختلاف در ترکیب شیمیایی آب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (۴). یکی از روش‌های متداول برای طبقه‌بندی و مقایسه انواع آب براساس ترکیب یونی، استفاده از نمودار پایپر (PIPER) و شاخص‌های کیفی ویلکاکس (Willcox) و شولر (Schuller) است. نمودار PIPER علاوه بر اینکه ماهیت نمونه آب را به شکل گرافیکی نشان می‌دهد، وابستگی آن را نیز با نمونه‌های دیگر به منظور شناسایی سهم طبیعی، سنگ شناسی و انسانی نشان می‌دهد و به اظهار نظر در مورد تکامل شیمیایی آن در طول مسیر جریان کمک می‌کند (۵). از جمله مطالعات صورت گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. Khandouzi و همکاران (۶) به بررسی کیفیت هیدروژئوشیمیایی بهداشتی آب زیرزمینی شهرستان رامیان استان گلستان با استفاده از نمودار PIPER و شاخص‌های کیفی Willcox و Schuller پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که آب‌های زیرزمینی

برای مصرف کشاورزی در حد متوسط و از نظر شرب مناسب است و از نظر کشاورزی در رده C3-S1 قرار دارند. Solgi و همکار (۷) کیفیت آب رودخانه ارس را با استفاده از متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی قرار دادند، بررسی پارامترهای اندازه‌گیری شده Na، K، Ca، pH، TDS و EC نشان داد کیفیت آب رودخانه ارس در محدوده مورد مطالعه در وضعیت مناسب قرار ندارد. یکی از روش‌های مرسوم برای تعیین کیفیت آب شرب، دیاگرام نیمه لگاریتمی شولر است که نخستین بار توسط شولر در سال ۱۹۶۲ ارائه شده (۸) و تاکنون نیز نتایج قابل توجهی در پی داشته است. Ebadati و همکار (۹) جهت بررسی کیفیت آب رودخانه دز، از نمودار شولر استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند آب رودخانه دز به لحاظ شرب مناسب است. Homayon Nezhad و همکاران (۱۰) کیفیت آب مخازن چاه‌های نیمه زایل را با استفاده از نمودار شولر، قابل قبول ارزیابی کردند. Soleymani Motlagh و همکاران (۱۱) در ارزیابی تأثیرات خشکسالی بر کیفیت آب‌های سطحی از نمودار شولر بهره گرفتند و پی بردند که کیفیت آب شرب این منابع، از خوب به قابل قبول تغییر پیدا کرده است. در این تحقیق در راستای اهداف فوق، کیفیت شیمیایی و هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی حوزه سیاهو در شهرستان بندرعباس استان هرمزگان، جهت مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از نمودار PIPER و شاخص‌های کیفی Willcox و Schuller مورد بررسی قرار گرفته است و عوامل مختلف در کیفیت آب محدوده مورد مطالعه، از جمله میزان املاح محلول، تیپ شیمیایی آب، قابلیت‌ها و محدودیت‌های مصرفی آب بررسی شده است.

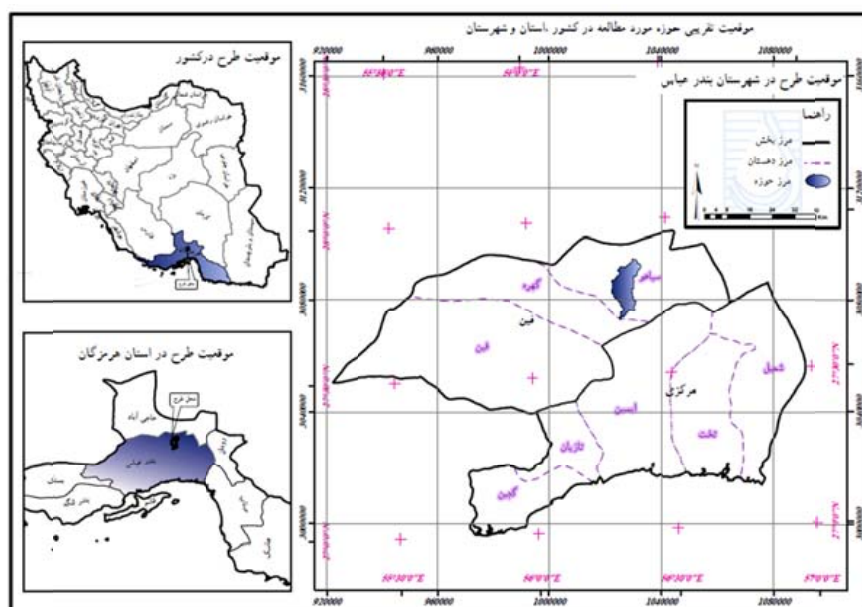
## مواد و روش‌ها

**موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه**  
محدوده مورد مطالعه در استان هرمزگان شهرستان بندرعباس بخش فین واقع در طول‌های جغرافیایی ۴۹° ۱۷' ۵۶" تا ۲۰' ۲۴' ۵۶" و عرض‌های شمالی ۴۳' ۴۰" ۲۷" تا ۲۱' ۵۲' ۲۷" قرار دارد (شکل ۱). جهت بررسی زمین

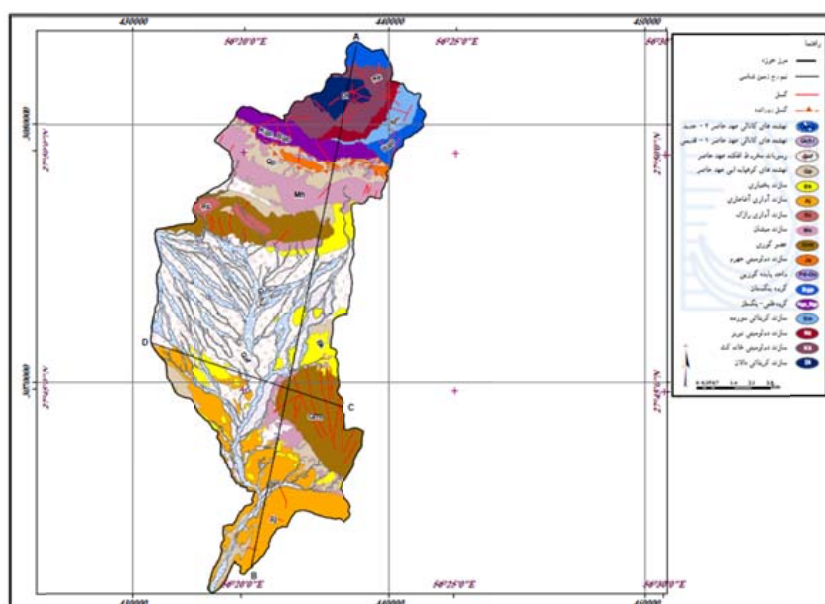
آب این رسوبات می‌گردد. ب) ماسه سنگ‌ها، سطح قابل توجهی از جنوب گستره مورد مطالعه از رسوبات ماسه سنگی تشکیل شده است. ماسه سنگ‌های حوزه دارای خمیره سخت آهکی هستند و چون اجزاء آنها نیز از قطعات سنگ‌های آهکی و چرتی تشکیل شده اثر آنها بر منابع آبی شبیه آهک‌ها و دولومیت‌ها است. ج) کربناته‌ها، قابلیت حل شدن ترکیبات آهکی به مقدار گاز کربنیک موجود در هوا و خاک بستگی دارد. د) رسوبات آبرفتی، فرسایش نهایی سازندهای مختلف در ارتفاعات اطراف موجب پیدایش رسوبات آبرفتی می‌گردد که خود منبع با ارزشی برای حفظ و ذخیره‌سازی منابع آب زیرزمینی است. سرعت نفوذ کم آب، وفور املاح گوناگون، تغییرات عمق سطح آب، نفوذ از منابع زیرزمینی و سطحی مجاور از عوامل تغییر کیفیت شیمیایی منابع موجود در رسوبات آبرفتی است. در شرایط عادی و معمولی در صورت عدم دخالت عوامل ثانویه شرایط رسوبگذاری و حرکت آب زیرزمینی به نحوی است که کیفیت آب در ابتدای دشت‌ها، کربناته، در میانه دشت‌ها سولفات و در بخش‌های انتهایی و خروجی کلروره است که البته این شرایط در همه جا حکمفرما نیست. با توجه به بازدیدهای صحرایی در منطقه و بررسی نقشه‌های زمین شناسی مشخص

شناسی منطقه در سال ۱۳۹۵ عملیات میدانی انجام شد، پس از بازدید و شناخت پدیده‌های زمین شناسی منطقه با استفاده از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ بندرعباس، نقشه زمین شناسی حوزه سیاهو با استفاده از مدل‌های رقومی و GIS تهیه گردید. از نظر زمین‌شناسی، حوزه سیاهو در مرز دو پهنه زاگرس چین خورده و پهنه زاگرس مرتفع (روراندگی‌ها) جای گرفته است (۱۲). از مهمترین سازندهای مشاهده شده در این حوزه می‌توان به سازند کربناتی دالان، سازند دولومیتی خانه کت، سازند دولومیتی نی‌ریز، گروه خامی، سازند کربناتی سورمه، سازند شیلی پابده و گورپی، سازند دولومیتی چهارم، سازند میشان، سازند آغاچاری و سازند کنگلومرای بختیاری اشاره کرد، که بخش اعظمی از این تشکیلات ارتفاعات منطقه را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). از نظر تشکیلات زمین شناسی و سنگ شناسی عمده این سازندها کربناته، تبخیری، آهکی و دولومیتی، ماسه سنگ، مارن و شیل هستند (۱۲).

اثر واحدهای سنگی و رسوبی بر روی کیفیت منابع آب در محدوده مطالعاتی سیاهو را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود: الف) مارن‌ها، این رسوبات اغلب حاوی مقدار زیادی رسوب آهکی-رسی است. این عامل موجب افزایش املاح موجود در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

شد، کل حوزه را می‌توان از نظر آب زیرزمینی به چهار بخش تقسیم نمود. بخش مرکزی، بخش ارتفاعات شمالی، بخش غربی و جنوبی، بخش ارتفاعات شرقی. بخش اول را می‌توان شامل مرکز حوزه، روستای سیاهو و مخروط افکنه‌های بین این روستا و روستای سغ است، دانست. در بخش جنوبی حوزه که تقریباً بیشتر آن پوشیده از رخنمون‌های سنگی آگاریست هیچ نشانی از آب‌های زیرزمینی دیده نمی‌شود. در بخش شمالی حوزه، وجود یک چشمه نسبتاً پرآب (چشمه پشت سغ) که از لایه‌های آهکی بالا دست خود سرچشمه گرفته، وجود منابع آب کارستی را در این بخش از حوزه محتمل می‌سازد. در نهایت آبخوان غربی حوزه که تنها شواهد موجود از آن چشمه‌های مرکز حوزه و زیر دست روستای سیاهو و همچنین جنوب حوزه است. در این بخش دلیل تاثیر پذیری رسوبات مخروط افکنه‌ای غربی حوزه از گنبد نمکی مجاور آن، می‌بایست چشمه‌های آب شور موجود در زیردست سیاهو و جنوب حوزه را مستقیماً با این بخش در ارتباط دانست. تنها منشأ مخرب آب در منطقه همین گنبد نمکی است که با اینکه در داخل حوزه قرار ندارد اما از طریق ارتباط سفره زیرزمینی سبب شوری تقریباً تمامی خروجی‌های آب زیرزمینی در غرب حوزه و همچنین آب‌های

سطحی در آبراهه‌های منتهی به آبراهه رودشور است، می‌شود. آنچه در مورد بخش غربی-جنوبی و بخش مرکزی حوزه گفته شد مربوط به سفره‌های آزاد آبرفتی است. این دو بخش هر چند ذخیره چندانانی ندارند، اما همین میزان نیز از یکدیگر منفک و بی ارتباط هستند. چرا که در صورت ادغام این دو بخش کیفیت منابع مرکزی حوزه نیز می‌بایست افت شدیدی را از خود نشان دهند. سفره‌های اشاره شده در شمال و شرق حوزه نیز با استناد به منابع آب موجود در آنها (چاه عمیق در پلانژ تاقدیس آهکی نیزه و چشمه کارستی شمال پشت سغ) از جمله آبخوان‌های آهکی و کارستیک هستند.

#### - روش بررسی

در این تحقیق برای بررسی و ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف آشامیدن، کشاورزی و صنعت در منطقه مورد مطالعه، تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی بر روی ۱۵ ویژگی کیفی مربوط به سه حلقه چاه عمیق، سه دهنه چشمه و یک رشته قنات آبدار در محدوده مورد مطالعه انجام گردید. همچنین به منظور بررسی وضعیت کیفی آب‌های سطحی، نمونه برداری از یک چشمه در محلی دورتر از سرچشمه نیز برداشت شده تا بتوان تاثیر رخنمون‌ها بر رواناب‌های سطحی را تا حدودی

(۱۵). در نهایت برای بررسی دقت کلی داده‌های بدست آمده، از روش محاسبه بالانس یونی برای تمام نمونه‌ها استفاده شد. زیرا در حالت کلی، آب شرب از نظر الکتریکی خنثی است و باید بین کاتیون‌ها و آنیون‌های آن برحسب  $\text{Meq/L}$  تعادل برقرار باشد. لذا در این تحقیق بالانس یونی نمونه‌ها محاسبه شده و نمونه‌های با خطای بالانس بیشتر از ۵ درصد را مجدد مورد آنالیز قرار داده تا خطای آنها به کمتر از ۵ درصد برسد. نتایج آنالیز آزمایشگاهی در جدول ۱ آمده است (حجم نمونه‌ها  $300 \text{ mL}$  و در لوله پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شدند). در ادامه برای ارزیابی ویژگی‌های کیفی آب و ترسیم نمودارهای پایپر، شولر و ویلکاکس با استفاده از نرم افزارهای Aq.qa و AqaChem استفاده شد. نقشه‌های خروجی با استفاده از تلفیق نقشه‌های زمین شناسی مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از نرم افزارهای Arc map و GIS تهیه شده است.

تخمین زد. نمونه‌های آب براساس دستورالعمل‌های موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳) برداشت و به آزمایشگاه آب و خاک یزد منتقل شدند و براساس روش‌های استاندارد (۱۴)، pH و هدایت الکتریکی (EC) با دستگاه‌های pH متر و دستگاه سنجش هدایت الکتریکی، غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، بی کربنات، کلر به روش تیتراسیون (حجم سنجی)، غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم به روش فلیم فتومتری (Flame photometry) و یون سولفات به روش اسپکتروفتومتری (Spectrophotometry) اندازه‌گیری شدند. برای صحت سنجی نتایج از نمونه شاهد (Spiked) استفاده شد (۱۵). برای بررسی دقت نتایج از یک نمونه تکراری (Duplicate) در میان نمونه‌ها استفاده شد، که بدین منظور می‌بایست دو نمونه از یک چاه برداشته شود و در میان نمونه‌ها قرار داده شوند، اگر آزمایش‌ها درست انجام شود بایستی گزارش آنالیز آزمایشگاهی برای نمونه‌های تکراری نتایج یکسانی را نشان دهد

جدول ۱- نتایج ویژگی‌های کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه\*

| نمونه              | BSW8   | BSS2   | BSS3   | BSW1   | BSW9   | BSQ5   | BSS7-2 | BSS7-1 | پارامتر |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| EC                 | ۹۱۵    | ۳۱۱۷   | ۱۷/۸۷  | ۱۰۴۰   | ۱۰۹۹۰  | ۴۶۴۷   | ۱۳۷۲   | ۹۱۵    |         |
| pH                 | ۷/۸۵   | ۷/۹۹   | ۸/۱۴   | ۸/۰۹   | ۷/۸۷   | ۷/۶۵   | ۸/۲۴   | ۷/۹۴   |         |
| $\text{K}^+$       | ۰/۰۴   | ۰/۱۶   | ۰/۰۹   | ۰/۰۵   | ۰/۴۵   | ۰/۲۶   | ۰/۰۸   | ۰/۰۴   |         |
| $\text{Na}^+$      | ۰/۴۱   | ۱۹/۹۴  | ۹/۱۶   | ۱      | ۹۱/۴۱  | ۲۵/۳۵  | ۱/۸    | ۰/۵۱   |         |
| $\text{Mg}^{2+}$   | ۴      | ۷/۱۵   | ۵/۵    | ۵/۲    | ۵      | ۷/۵    | ۶      | ۴      |         |
| $\text{Ca}^{2+}$   | ۵/۵    | ۴/۸۵   | ۳/۵    | ۵      | ۱۵     | ۱۲/۵   | ۶      | ۴      |         |
| $\text{SO}_4^{2-}$ | ۴/۸۲   | ۵/۳    | ۴/۰۹   | ۶/۱۳   | ۶      | ۷      | ۷/۵۷   | ۴/۹۷   |         |
| $\text{Cl}^-$      | ۱/۵۵   | ۲۲     | ۱۰     | ۱/۵    | ۱۰۲/۷۵ | ۳۲     | ۲/۳۵   | ۰/۵۵   |         |
| $\text{HCO}_3^-$   | ۳/۵    | ۴/۵    | ۳/۷    | ۳/۳۵   | ۴      | ۷      | ۴      | ۴      |         |
| TDS                | ۶۸۸/۸۸ | ۱۹۷۵/۶ | ۱۱۲۷/۲ | ۷۳۹/۱۹ | ۶۶۵۹/۹ | ۲۸۳۲/۲ | ۹۳۷/۳۱ | ۶۶۳/۳۸ |         |
| SAR                | ۰/۱۵   | ۶/۸۷   | ۳/۶۶   | ۰/۳۶   | ۲۱/۸۵  | ۶/۲۹   | ۰/۶    | ۰/۱۹   |         |
| SSP                | ۴/۱۲   | ۶۲/۱۲  | ۵۰/۱۹  | ۸/۸۹   | ۸۱/۷۲  | ۵۵/۵۸  | ۱۲/۷۹  | ۵/۳۴   |         |
| سختی کل            | ۴۷۵    | ۶۰۰    | ۴۵۰    | ۵۱۰    | ۱۰۰۰   | ۱۰۰۰   | ۶۰۰    | ۴۵۰    |         |
| قلیابیت            | ۱۷۵    | ۲۲۵    | ۱۸۵    | ۱۶۷/۵  | ۲۰۰    | ۳۵۰    | ۲۰۰    | ۲۰۰    |         |
| مجموع آنیون        | ۹/۸۷   | ۳۱/۱۸  | ۱۷/۷۹  | ۱۰/۹۸  | ۱۱۲/۷۵ | ۴۶     | ۱۳/۹۲  | ۹/۵۲   |         |
| مجموع کاتیون       | ۹/۹۵   | ۳۲/۱   | ۱۸/۲۵  | ۱۱/۲۵  | ۱۱۱/۸۶ | ۴۵/۶۱  | ۱۳/۸۸  | ۹/۵۵   |         |

\*واحد تمام یون‌ها بر حسب  $\text{Meq/L}$ ، EC بر حسب  $\mu\text{mhos/cm}$  است.

## یافته‌ها

## هدایت الکتریکی (EC)

هدایت الکتریکی اندازه‌گیری میزان یون‌های محلول است که در واقع اندازه‌گیری غیر مستقیم مواد جامد محلول در آب و تابعی از دمای آب و TDS است (۱۶). EC آب به دلیل وجود مواد جامد معدنی محلول مانند کاتیون‌های کلرید، سولفات، سدیم، منیزیم و کلسیم است (۱۶). میزان EC به غیر از نمونه BSS7-1 و BSW1 در بقیه نمونه‌ها بالاتر از حد مجاز تعیین شده توسط WHO (۱۷) است. به نظر می‌رسد تشکیلات زمین‌شناسی و گنبد نمکی موجود در منطقه نقش مهمی در بالا بودن غلظت آن داشته است. بیشترین میزان هدایت الکتریکی منابع آبی موجود در حوزه سیاهو مربوط به چشمه شور کوچ تمبی با کد BSS2 است که می‌توان آن را با سفره زیرزمینی غرب حوزه (مرتبط با گنبد نمکی مجاور حوزه) دانست. میزان هدایت الکتریکی این چشمه  $10990 \mu\text{mhos/cm}$  است. این مقدار از هدایت الکتریکی نشان از کیفیت نامطلوب آب‌های آبخوان بخش غربی از نظر شیمیایی است. نمونه‌های BSS3 و BSW8 نیز در ارتباط با همین سفره و دارای هدایت الکتریکی بالا هستند. کمترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به دو نمونه، یکی چاه عمیق شمال غرب حوزه (BSW1) و دیگری چشمه آهکی شمال

پشت سغ (BSS7-1) به میزان  $915 \mu\text{mhos/cm}$  است. کیفیت مطلوب چشمه آهکی واضح است. اما تاثیر سازندهای مسیر انتقال آب این چشمه به پایین دست نیز قابل تامل است. نمونه (BSS7-2) مربوط به همین چشمه اما پس از انتقال به پایین دست با استفاده از شیوه‌های سنتی، کانال‌های روباز و حفر آبراهه در سازندها و واحدهای سنگی مسیر است. میزان هدایت الکتریکی آب چشمه پس از طی مسافت حدود  $3 \text{ km}$  از  $915 \mu\text{mhos/cm}$  به  $1372 \mu\text{mhos/cm}$  رسیده است. این مقایسه نشان می‌دهد تاثیرات سازندهای مارنی همچون میشان بر وضعیت منابع آن تا چه اندازه است. بطور کلی در حوزه سیاهو از سمت شمال شرق به جنوب غرب بر میزان املاح و مواد محلول در آب افزوده شده و سبب افت کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌گردد.

## سختی کل

تعیین میزان سختی آب به لحاظ تشخیص کاربرد مصرف آشامیدنی و بهداشتی، کشاورزی، صنعت و همچنین محاسبات مربوط به سبک یا نرم کردن آب حائز اهمیت است. به منظور ارزیابی منابع آب محدوده مورد مطالعه از نظر سختی، علاوه بر معیارهای تعریف شده توسط Schuller، از رده بندی ارائه شده توسط Maccarty and Sawyer نیز استفاده می‌شود (۱۸). در این رده بندی آب‌های با سختی  $0-75 \text{ mg/L}$  آب نرم،  $75-150 \text{ mg/L}$  را آب سخت و آب‌های با سختی بالای

جدول ۲- طبقه بندی سختی در نمونه‌های محدوده سیاهو

| ردیف | نمونه  | سختی کل | سختی موقت | سختی دائم | کیفیت آب براساس سختی کل |
|------|--------|---------|-----------|-----------|-------------------------|
| ۱    | BSW1   | ۴۷۲/۱۹  | ۳۵۰       | ۱۲۲/۱۹    | کاملاً سخت              |
| ۲    | BSW8   | ۵۹۵/۲۸  | ۴۵۰       | ۱۴۵/۲۸    | کاملاً سخت              |
| ۳    | BSW9   | ۴۴۶/۳۸  | ۳۷۰       | ۷۶/۳۸     | کاملاً سخت              |
| ۴    | BSQ5   | ۵۰۶/۴۸  | ۳۳۵       | ۱۷۱/۴۸    | کاملاً سخت              |
| ۵    | BSS2   | ۹۹۶     | ۴۰۰       | ۵۹۶       | کاملاً سخت              |
| ۶    | BSS3   | ۹۹۴/۶   | ۷۰۰       | ۲۹۴/۶     | کاملاً سخت              |
| ۷    | BSS7-2 | ۵۹۵/۹۲  | ۴۰۰       | ۱۹۵/۹۲    | کاملاً سخت              |
| ۸    | BSS7-1 | ۳۹۷/۲۸  | ۳۹۷/۲۸    | ۰         | کاملاً سخت              |

تفاوت‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی از اصطلاح رخساره هیدروشیمیایی استفاده می‌شود (۲۰). رخساره‌ها تابعی از لیتولوژی، پویایی محلول‌ها و الگوی جریان آب در آبخوان است. اساس طبقه بندی رخساره‌ها مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده (برحسب Meq/L) آب زیرزمینی است (۲۱). یکی از روش‌های متداول در تعیین تیپ و رخساره هیدروشیمی آب، استفاده از نمودار پایپر است (۲۲). در این طبقه بندی، آب‌ها براساس کاتیون‌ها به سه رخساره منیزیک، کلسیک و سدیک و نیز بر پایه آنیون‌ها به سه تیپ بی کربناته، سولفاته و کلروره تقسیم بندی می‌شوند. در جدول ۳، تواتر یونی، تیپ و رخساره هیدروژئوشیمیایی دشت و نحوه توسعه آنها نشان داده شده است. براساس نمودار پایپر تیپ کیفی شیمیایی آب، همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد، در بین نمونه‌های آزمایش شده، نمونه‌های مربوط به حوزه آبخوان مرکزی و شمالی تپی سولفاته دارند بجز نمونه حوزه قنات شمال که رخساره آنها کلسیک است. باز می‌توان تاثیرات سنگ‌های مارنی را بر روی تیپ آب‌های مجاور خود مشاهده کرد. نمونه‌های متاثر از گنبد نمکی (مربوط به آبخوان غربی) نیز مشخصاً تیپ و رخساره‌ای همخوان با شرایط خود دارند و همگی کلرور سدیک هستند.

۳۰۰ mg/L را آب‌های کاملاً سخت نامیده می‌شود. با این روش منابع آب محدوده مطالعاتی سیاهو براساس سختی تقسیم بندی شده و در جدول ۲ ارائه گردیده است. بر این اساس تمامی نمونه‌های برداشت شده در محدوده آب‌های با منشاء کاملاً سخت قرار می‌گیرند. کمترین میزان سختی مربوط به نمونه چاه دستی سیاهو و چشمه آهکی پشت سغ است.

### کل مواد جامد محلول (TDS)

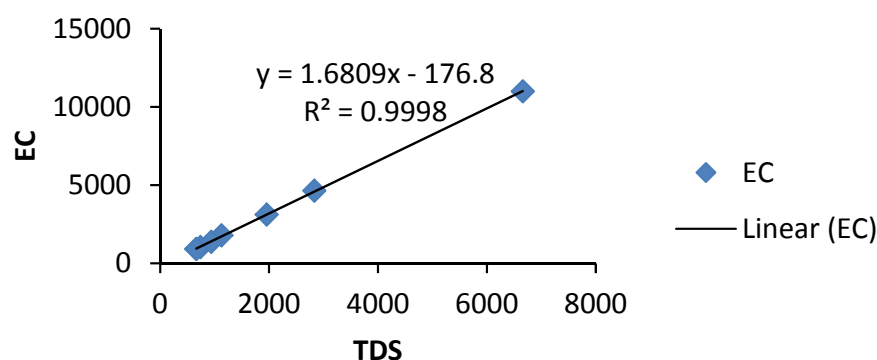
TDS بیشتر در برگیرنده نمک‌های معدنی مانند بی کربنات‌ها، کربنات‌ها، کلرید، سولفات، منیزیم، سدیم و پتاسیم است (۱۹). مقدار کل مواد جامد محلول (TDS) با توجه به همبستگی مثبت با هدایت الکتریک (EC)، با افزایش EC غلظت آن نیز افزایش پیدا کرده است (نمودار ۱). در بین نمونه‌های موجود در حوزه سیاهو املاح محلول بین ۶۶۳ تا ۶۶۵۹ متغیر است. براساس استاندارد WHO، ( $TDS \leq 1400$ )، مقدار TDS بجز نمونه BSW1، BSQ5 و BSS7-2 در بقیه نمونه‌ها دارای غلظت زیادی است. بالا بودن این غلظت ناشی از تاثیر گنبد‌های نمکی بر آب این محدوده است.

### تیپ و رخساره آب

رخساره‌های هیدروشیمیایی آب زیرزمینی تعیین کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت است. برای توصیف

جدول ۳- تیپ و رخساره نمونه‌های آب محدوده سیاهو

| ردیف | نمونه  | غلظت آنیون‌ها       | غلظت کاتیون‌ها     | تیپ آب  | رخساره آب | تیپ و رخساره   |
|------|--------|---------------------|--------------------|---------|-----------|----------------|
| ۱    | BSW1   | $SO_4 > HCO_3 > Cl$ | $Ca > Mg > Na+K$   | سولفاته | کلسیک     | سولفاته کلسیک  |
| ۲    | BSS7-2 | $SO_4 > HCO_3 > Cl$ | $Ca = > Mg > Na+K$ | سولفاته | کلسیک     | سولفاته کلسیک  |
| ۳    | BSS7-1 | $SO_4 > HCO_3 > Cl$ | $Ca = > Mg > Na+K$ | سولفاته | کلسیک     | سولفاته کلسیک  |
| ۴    | BSQ5   | $SO_4 > HCO_3 > Cl$ | $Mg > Ca > Na+K$   | سولفاته | منیزیک    | سولفاته منیزیک |
| ۵    | BSW8   | $Cl > SO_4 > HCO_3$ | $Na+K > Mg > Ca$   | کلروره  | سدیک      | کلروره سدیک    |
| ۶    | BSW9   | $Cl > SO_4 > HCO_3$ | $Na+K > Mg > Ca$   | کلروره  | سدیک      | کلروره سدیک    |
| ۷    | BSS2   | $Cl > SO_4 > HCO_3$ | $Na+K > Ca > Mg$   | کلروره  | سدیک      | کلروره سدیک    |
| ۸    | BSS3   | $Cl > SO_4 > HCO_3$ | $Na+K > Ca > Mg$   | کلروره  | سدیک      | کلروره سدیک    |



نمودار ۱- همبستگی مثبت بین EC و TDS در نمونه‌های مورد مطالعه (واحد TDS بر حسب Meq/L، EC بر حسب  $\mu\text{mhos/cm}$  است)

### ارزیابی منابع آب از نظر شرب، کشاورزی و صنعتی

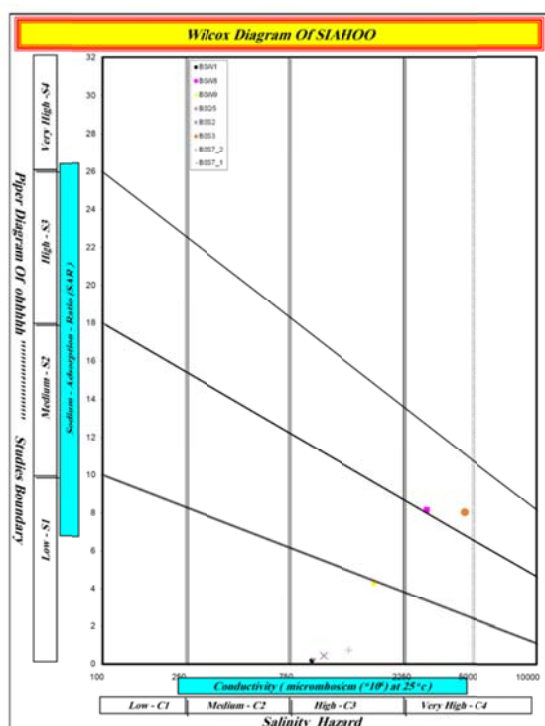
برای ارزیابی منابع آب از نظر مصارف شرب رده بندی‌هایی انجام شده است که متداول‌ترین آنها تقسیم بندی شولر است (۲۳). در این رده بندی بر پایه میزان املاح محلول آب یعنی آنیون‌ها، کاتیون‌ها و غیره، شش گروه خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطبوع، و غیرقابل شرب تعیین شده است. جهت بررسی منابع آب محدوده مورد مطالعه نمودار شولر برای ارزیابی شرب تهیه و ارائه شده است (شکل ۳). با توجه به این نمودار نمونه چشمه‌های BSS2 و BSS3 در محدوده غیرقابل شرب قرار می‌گیرند و نمونه مربوط به چاه BSW8 دارای کیفیت نامناسب برای شرب است. بر همین اساس نمونه‌های مربوط به چاه عمیق حوزه و چشمه آهکی پشت سغ در محدوده خوب و قابل قبول برای شرب جای می‌گیرند. سایر نمونه‌ها نیز در محدوده قابل قبول تا متوسط هستند.

ویلکاکس با ترسیم نسبت جذبی سدیم در مقابل شوری، نموداری برای ارزیابی کیفی آب‌ها جهت مصارف کشاورزی ارائه کرده است (۲۴). نمودار ویلکاکس آب کشاورزی را به ۱۶ رده تقسیم می‌کند که آب‌های کشاورزی با کیفیت خیلی خوب در رده C1-S1 و آب‌های کشاورزی با کیفیت خوب در رده‌های C1-S2، C2-S2، C2-S1 قرار می‌گیرند. در صورتی که دانه بندی و نفوذپذیری خاک مناسب باشد، رده‌های C1-S3، C2-S3، C3-S1، C3-S2 و C3-S3 برای آبیاری در حد متوسط است و در نهایت رده‌های C4-S1،

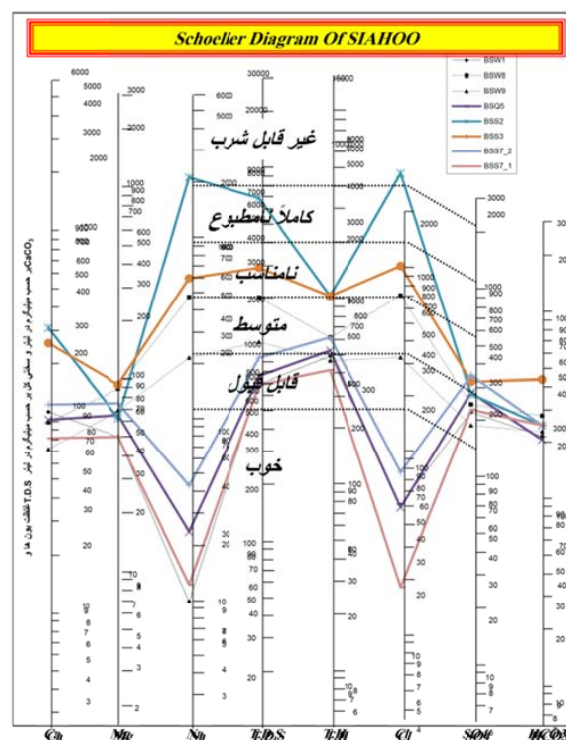
C4-S2، C1-S4، C2-S4، C4-S3، C3-S4 و C4-S4

نیز برای آبیاری نامناسب هستند. این نمودار با استفاده از نرم افزار Aqua.Chem ترسیم گردید. براساس نمودار ویلکاکس در شکل ۴ نتایج بیانگر این مطلب بوده که مقدار بالای نمک‌ها یکی از مشکلات آبی است که در این منطقه برای آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه‌های آب زیرزمینی از نظر کشاورزی نیز چندان مطلوب نبوده و سه نمونه مربوط به آبخوان غربی در کلاس C4-S3 و C4-S4 قرار می‌گیرند که بسیار شور و برای کشاورزی نامناسب‌اند. سایر نمونه‌ها در گروه C3-S1 جای می‌گیرند و با وجود شوری، برای آبیاری باغات منطقه قابل استفاده هستند. در جدول ۴ وضعیت نمونه‌های موجود از نظر کشاورزی توصیف شده است.

یکی دیگر از فاکتورهایی که در ارزیابی آب‌های صنعتی مورد نظر است، قابلیت رسوبگذاری و خوردگی آب‌هاست. جهت بررسی کیفیت آب منابع دشت به منظور مصارف صنعتی از ضریب اشباع لائتلیه (SI) استفاده شده است (۱۴). آب‌های دارای اندیس اشباع منفی، خورنده بوده و می‌تواند بر روی منصوبات چاه و تاسیسات آبرسانی اثر نامطلوب برجای گذارد. آب‌های دارای اندیس اشباع مثبت، رسوبده بوده و استفاده از آنها در دیگ‌های بخار و گرمکن‌های فشار ضعیف در صنعت جایز نیست. آب‌های با اندیس اشباع صفر دارای حالت تعادل بوده و خاصیت خوردگی و رسوبدهی ندارند. معمولاً به منظور کنترل خوردگی آب همواره بهتر است اندیس اشباع آب کمی



شکل ۴- نمودار ویلکاکس آب‌های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه



شکل ۳- نمودار شولر آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

جدول ۴- توصیف نمونه‌های محدوده سیاه‌وا از نظر ارزیابی کشاورزی

| ردیف | نمونه  | SAR   | EC    | کلاس آب | کیفیت آب برای کشاورزی           |
|------|--------|-------|-------|---------|---------------------------------|
| ۱    | BSW8   | ۸/۱۴  | ۳۱۱۷  | C4-S3   | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| ۲    | BSS2   | ۲۸/۹۱ | ۱۰۹۹۰ | C4-S4   | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| ۳    | BSS3   | ۸/۰۲  | ۴۶۴۷  | C4-S3   | خیلی شور - برای کشاورزی نامناسب |
| ۴    | BSW1   | ۰/۱۹  | ۹۱۵   | C3-S1   | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| ۵    | BSW9   | ۴/۳۲  | ۱۷۸۷  | C3-S1   | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| ۶    | BSQ5   | ۰/۴۴  | ۱۰۴۰  | C3-S1   | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| ۷    | BSS7-2 | ۰/۷۳  | ۱۳۷۲  | C3-S1   | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |
| ۸    | BSS7-1 | ۰/۲۶  | ۹۱۵   | C3-S1   | شور - قابل استفاده برای کشاورزی |

تقسیم‌بندی شده است. گروه اول  $SI < 0$  آب خورنده، گروه دوم  $SI = 0$  آب نه خاصیت خورندگی و رسوبدهی دارد و گروه سوم  $SI > 0$  آب رسوبگذار است. براین اساس بررسی کیفیت آب حوزه با استفاده از نتایج شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه، از

مثبت بوده  $(+0/5)$  تا با ایجاد لایه‌های بسیار نازک رسوب از خوردگی فلزات جلوگیری نماید. لانگیلیر (Langelier) یا لانژیله (۱۴)، وضعیت خورندگی و رسوبدهی آب را با استفاده از ضریب اشباع لانژیله  $SI$  نشان می‌دهد، که در سه گروه

نظر خورندگی و رسوبدهی برای مصارف صنعتی به شرح جدول ۵ ارزیابی شد. همانطور که مشاهده می‌گردد نمونه BSW1 و BSS7-1 رسوبگذار و بقیه نمونه‌ها خورنده هستند، که نشان‌دهنده سولفاته بودن تیپ آب‌های منطقه مورد مطالعه است.

### بحث

در شکل ۵ منابع تاثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، مطالعات صحرایی، جنس رسوبات و GIS تهیه و نشان داده شده است. آلاینده‌های منابع آب را می‌توان به دو گروه آلاینده‌های طبیعی و انسانی تقسیم کرد. بدلیل گسترش اندک کشاورزی و بدلیل نبود مراکز صنعتی در حوزه، آلاینده‌های انسانی مطرح و قابل توجه نیست. در مقابل وجود آلاینده طبیعی آب که شامل سنگ مادری (مارن، تبخیری‌ها، فسفات‌ها و گنبد نمکی) است و نقش مهمی در کیفیت آب دارد در حوزه بسیار پررنگ است و نمی‌توان تاثیر گنبد‌های نمکی و لایه‌های مارنی سازند آجاجاری و میشان را در کاهش شدید کیفیت آب در محدوده حوزه نادیده گرفت. ذکر این نکته در مورد این موضوع نیز الزامی به نظر می‌رسد که بدلیل عبور آبراهه‌های فصلی غرب حوزه که بواسطه منشأگیری از ارتفاعات با رخنمون گنبد نمکی دارای کیفیت رواناب بسیار

نامناسب و شوری است، که بطور مشخص بر روی منابع آبی در غرب و جنوب غرب حوزه تاثیر گذاشته و سبب افت قابل توجه کیفیت آنها شده است. وجود لایه‌های مارنی در شمال حوزه نیز تاثیر مستقیم بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه داشته است، و این تاثیر را در مقایسه با دو نمونه آب BSS7-1 و BSS7-2 می‌توان به راحتی مشاهده نمود. این تاثیر به حدی است که همانطور که در جدول ۵ می‌توان دید، آبی با خاصیت خورندگی (از نظر خواص لازلیه) پس از تماس با این منابع آلاینده، به آبی رسوبگذار تبدیل شده است و میزان املاح موجود در آن تقریباً ۱/۵ برابر شده است. منابع آلاینده طبیعی و مشخصاً رخنمون‌های گنبد نمکی غرب حوزه (خارج از حوزه)، بدلیل وسعت، نفوذ قابل توجه و تاثیرگذاری فراوان بر منطقه غیر قابل اجتناب است. تنها راه برای جلوگیری از تاثیرات مستقیم این رخنمون‌ها بر منابع آب زیرزمینی، ایزوله نمودن رواناب‌های سطحی حاصل از این برونزدها و جلوگیری از نفوذ سیلاب از سطح این رخنمون‌ها به آبخوان است که مسلماً چندان نیز ساده نیست. به علاوه احداث سدهای زیرزمینی نیز می‌تواند به این مهم دست یافت. در مورد رخنمون‌های میشان و مارن‌های آجاجاری در بالادست و مرکز حوزه از آنجا که عمده رسوبات تولید شده در قالب طرح‌های آبخیزداری قابل کنترل هستند می‌توان اجرای این دست از طرح‌ها را در پایین دست

جدول ۵- توصیف محاسباتی ارزیابی صنعتی لانگلیر برای نمونه‌های محدوده سیاهو

| ردیف | نمونه  | قلیائیت<br>بر حسب CaO | Ca<br>(mg/L) | ضریب C | pHs | pH   | pHs-pH | کیفیت آب برای مصارف صنعتی |
|------|--------|-----------------------|--------------|--------|-----|------|--------|---------------------------|
| ۱    | BSW1   | ۱۰/۹۹                 | ۱۱۰          | ۱۱/۳   | ۸/۲ | ۷/۸۵ | ۰/۳۵   | رسوبگذار                  |
| ۲    | BSW8   | ۴۶۴/۸۶                | ۹۷           | ۱۱/۳۲  | ۶/۷ | ۷/۹۹ | -۱/۲۹  | خورنده                    |
| ۳    | BSW9   | ۲۱۴/۱۹                | ۷۰           | ۱۱/۳۱  | ۷/۱ | ۸/۱۴ | -۱/۰۴  | خورنده                    |
| ۴    | BSQ5   | ۲۴/۹۵                 | ۱۰۰          | ۱۱/۳   | ۷/۹ | ۸/۰۹ | -۰/۱۹  | خورنده                    |
| ۵    | BSS2   | ۲۱۱۹/۹۸               | ۳۰۰          | ۱۱/۳۵  | ۵/۵ | ۷/۸۷ | -۲/۳۷  | خورنده                    |
| ۶    | BSS3   | ۵۳۹/۱۹                | ۲۵۰          | ۱۱/۳۳  | ۶/۲ | ۷/۹۵ | -۱/۴۵  | خورنده                    |
| ۷    | BSS7-2 | ۴۴/۵۲                 | ۱۲۰          | ۱۱/۳۱  | ۷/۶ | ۸/۲۴ | -۰/۶۴  | خورنده                    |
| ۸    | BSS7-1 | ۱۳/۲۹                 | ۸۰           | ۱۱/۳   | ۸/۳ | ۷/۹۴ | ۰/۳۶   | رسوبگذار                  |

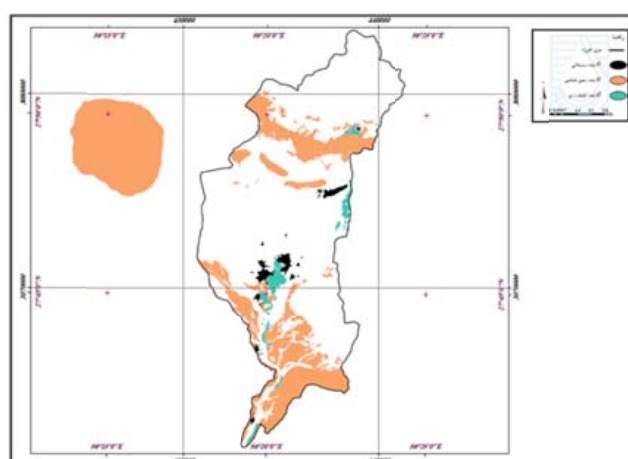
رخنمون‌ها پیشنهاد داد.

با توجه به مطالعات صحرایی و وجود گسترش قابل توجه نهشته‌های نفوذپذیر مخروط افکنه‌ای در شمال و مرکز محدوده شرایط نفوذ مساعدتری برای اجرای طرح‌های تغذیه‌ای وجود دارد. این بخش به خوبی می‌تواند عمده سیلاب‌های فصلی را طی اجرای چند طرح تغذیه‌ای در خود جای دهد و موجب قوت گرفتن آبخوان پایین دست، کاهش املاح آبخوان غربی و احیای قنوات قدیمی حوزه شود. اما نکته اینجاست که وسعت و گسترش آبراهه‌های بخش مرکزی حوزه به قدریست که شاید نتوان آنها را در قالب طرح‌های آبخیزداری قرار داد. آنچه مسلم است این بخش از حوزه پتانسیل بسیار بالایی برای کنترل سیلاب‌های فصلی حوزه دارد. با توجه به بارش‌های اندک سالانه و همچنین بالا بودن سنگ بستر در منطقه مورد مطالعه، بهترین گزینه از نظر شرایط زمین شناسی جهت اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی و کنترل سیلاب، بخش‌های مخروط افکنه‌ای شمال و مرکز حوزه است که بدلیل وجود رسوبات درشت دانه می‌تواند تاثیر بسزایی برروی وضعیت آبخوان سیاهو از نظر کمی و کیفی داشته باشد. در این مناطق ضخامت مناسب آبرفت، درشت دانه، قرارگیری در بالادست آبخوان دشت، و اجرای طرح‌های آبخیزداری تاثیر مثبتی بر آبخوان خواهند داشت. اما تاکید

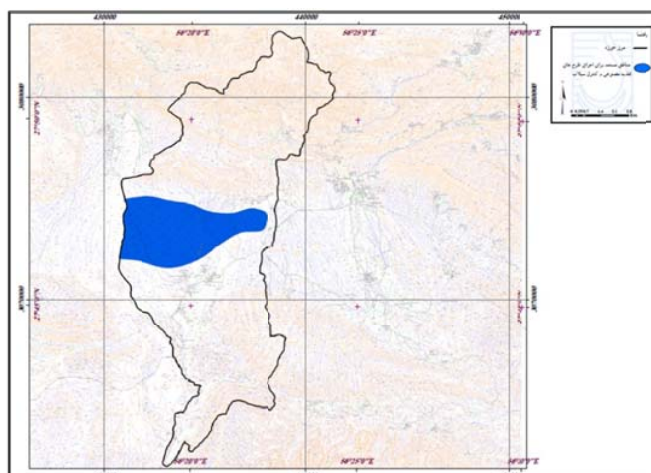
می‌شود در اجرای این طرح‌ها، می‌بایست مطالعات دقیق زیر سطحی برای ارائه راه حلی در جهت عدم تداخل آب‌های تحت تاثیر گنبد نمکی با آب‌های شیرین تر نفوذی از سطح صورت پذیرد تا نتیجه مطلوب حاصل گردد. به‌علاوه می‌بایست راهی موثر برای جلوگیری از جایگزینی رسوبات ریزدانه حمل شده در محل اجرای طرح پیش بینی نمود. براساس مطالعات زمین‌شناسی و رسوب شناسی (رسوبات درشت دانه ی کف مخروط افکنه و آبراهه‌ای فراوان) در شکل ۶، مناطق مستعد برای اجرای طرح‌های آبخیزداری در جهت کنترل و کیفیت آب زیرزمینی نشان داده شده است.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، منابع آب محدوده مطالعاتی سیاهو در محدوده آب‌های با منشأ کاملاً سخت قرار می‌گیرند. بطور کلی در حوزه سیاهو از سمت شمال شرق به جنوب غرب بر میزان املاح و مواد محلول در آب افزوده شده و سبب افت کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌گردد. تیپ کیفیت شیمیایی آب نمونه‌های مربوط به آبخوان مرکزی و شمالی حوزه تیپی سولفات‌ه دارند و بجز نمونه قنات شمال حوزه رخساره آنها نیز کلسیک است. نمونه‌های متاثر از گنبد نمکی (مربوط به آبخوان



شکل ۵- نقشه آلاینده‌های منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۶- مناطق مستعد برای اجرای طرح آبخیزداری در منطقه مورد مطالعه

بخش‌های مخروط افکنه‌ای شمال و مرکز حوزه به دلیل مساعد بودن شرایط زمین شناسی زیر سطحی و رسوبات درشت دانه، بتواند تاثیر بسزایی بر روی وضعیت آبخوان سیاهو چه از نظر کمی و چه کیفی داشته باشد. در مورد EC و TDS نیز نزدیک بودن متغیرهای تاثیرگذار بر این دو و همبستگی موجود بین این دو متغیر می‌تواند نشان‌دهنده یکسان بودن منابع تاثیرگذار بر آنها باشد که بیشترین آن آلودگی ناشی از تاثیر گنبد های نمکی است، همبستگی بین Na و EC به دلیل تاثیر مستقیم سدیم بر میزان EC است و سدیم یکی از عوامل بوجود آمدن هدایت الکتریکی است، در رابطه با همبستگی TDS و Na نیز به همین ترتیب که سدیم از عوامل تاثیرگذار بر TDS است. وجود گنبد نمکی در خارج محدوده مورد مطالعه و تاثیرات آن از طریق نهشته‌های رسوبی مخروط افکنه‌ای که مشترکا در داخل و خارج حوزه وجود دارند، از دیگر عوامل تاثیرگذار بر کیفیت منابع آب زیرزمینی حوزه است.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از مطالعات با عنوان "مطالعه تفصیلی اجرایی

غربی) نیز مشخصا تیپ و رخساره‌ای همخوان با شرایط خود دارند و همگی کلورسدیک هستند. نمونه‌های آب زیرزمینی از نظر کشاورزی نیز چندان مطلوب نبوده و سه نمونه مربوط به آبخوان غربی در کلاس C4-S3 و C4-S4 قرار می‌گیرند که بسیار شور و برای کشاورزی نامناسب هستند. سایر نمونه‌ها در گروه C3-S1 جای می‌گیرند و با وجود شوری، برای آبیاری باغات منطقه قابل استفاده هستند. با توجه به نمودار Schuller نمونه چشمه‌های BSS2 و BSS3 در محدوده غیرقابل شرب قرار می‌گیرند و نمونه مربوط به چاه BSW8 دارای کیفیت نامناسب برای شرب است. بر همین اساس نمونه‌های مربوط به چاه عمیق حوزه و چشمه آهکی پشت سغ در محدوده خوب و قابل قبول برای شرب قرار می‌گیرند. سایر نمونه‌ها نیز در محدوده قابل قبول تا متوسط هستند. در میان نمونه‌های آب محدوده مورد مطالعه از نظر مصارف صنعتی، نمونه BSW1 و BSS7-1 رسوبگذار و بقیه نمونه‌ها خورنده هستند. به نظر می‌رسد حوزه مورد مطالعه که بدلیل عبور آبراهه‌های فصلی غرب حوزه که بواسطه منشأگیری از ارتفاعات با رخنمون گنبد نمکی دارای کیفیت رواناب بسیار نامناسب و شوری است، که بطور مشخص بر روی منابع آبی در غرب و جنوب غرب حوزه تاثیر گذاشته و سبب افت قابل توجه کیفیت آنها شده است. وجود لایه‌های ماری در شمال حوزه نیز تاثیر مستقیم بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه داشته است. اجرای طرح‌های تغذیه‌ای در

بدینوسیله نویسندگان این مقاله از این اداره کل به منظور مساعدت در انجام این پژوهش تشکر می‌نمایند.

## References

1. Todd D, Mays L. Groundwater Hydrogeology. New York: John Wiley and Sons; 2005.
2. Lalehzari R, Tabatabaei S. Groundwater quality analysis in Shahrekord aquifer. Journal of Environmental Studies. 2010;36(53):55-62 (in Persian).
3. Wylie B, Shaffer M, Hall M. Regional assessment of NLEAP NO<sub>3</sub>-N leaching indices. Journal of the American Water Resources Association. 1995;31(3):339-408.
4. Kalantari N, Alijani F. Research of under ground water quality of Abbas Khuzestan plain. Science Journal of Shahid Chamran University. 2008;19:84-100 (in Persian).
5. Sayyed M, Wagh G, Supekar A. Assessment of impact on the groundwater quality due to urbanization by hydrogeochemical facies analysis in SE part of Pune city, India. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences. 2013;3(2):148-59.
6. Khandouzi F, Pari Zangane A, Abbasali Zamani A, Dadban Shahamat Y. Survey of hydrogeochemical quality and health of groundwater in Ramian, Golestan Province, Iran. Journal of Health Research in Community. 2015;1(3):41-52 (in Persian).
7. Solgi E, Sheikhzadeh H. Study of water quality of Aras River using physico-chemical variables. Iran-Water Resources Research. 2016;12(3):207-13 (in Persian).
8. Schoeller H. The Groundwater. Paris: Mas-son and Cie; 1962.
9. Ebadati N, Hooshmand Zadeh M. Water quality evaluation of Dez River in the Dezful hydrometric station. Iranian Journal of Ecohydrology. 2014;1(2):69-81 (in Persian).
10. Homayoon Nezhad I, Amirian P, Piri I. Investigation on water quality of Zabol Chahnimeh reservoirs from drinking water and agricultural viewpoint with focus on Schoeller and Vilcoks diagrams. Journal of Environmental Science and Technology. 2016;18(1):1-13 (in Persian).
11. Soleimani Motlagh M, Talebi A, Zareei M. The study of drought on the quality of surface water resources in Kashkan watershed. Journal of Watershed Management Research. 2015;6(12):154-65 (in Persian).
12. Aqanbati A. Geological of Iran. Iran: Geological Survey of Iran; 2006.
13. ISIRI. Water quality – Guidance on sampling techniques, number 2347. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran; 1983 (in Persian).
14. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
15. Barcelona M, Gibb J, Hehenfrich J, Garske E. Practical guide for groundwater sampling. USA: Illinois State Water Survey; 1985.
16. Rao G, Rao G. Study of groundwater quality in greater Visakhapatnam city, Andhra Pradesh (India). Journal of Environmental Science and Engineering. 2010;52(2):137-46.
17. WHO. Guidelines for Drinking Water Quality. 3rd ed. Switzerland: World Health Organization; 2008.
18. Peiyue L, Qian W, Jianhua W. Groundwater suitability for drinking and agricultural usage in Yinchuan Area, China. International Journal of Environmental Sciences. 2011;1(6):1248-56.
19. Kotaiah B, Swamy N. Environmental Engineering Laboratory Manual. India: Charotar Publishing House; 1994.
20. Fetter C. Contaminant Hydrogeology. New Jersey: Prentice Hall; 1999.
21. Sikdar P, Chakraborty S, Adhya E, Paul P. Land use/Land cover changes and groundwater potential zoning in and around Raniganj coal mining area, Bardhaman District, West Bengal-A GIS and remote sensing approach. Journal of Spatial Hydrology. 2004;4(2).
22. Piper A. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. American Geophysical Union. 1994;25(6):914-28.
23. Davoodi F, Seidzadeh H. Plain alluvial aquifer groundwater quality Bojnourd for drinking, agriculture and industry. 8th Conference of Iranian Association of Engineering Geology and The Environment; 2013; Mashhad (in Persian).
24. Wilcox L. The quality of water for irrigation use. Washington, DC: US Department of Agricultural Technical Bulletin; 1962.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Assessment of the hydrogeochemical quality of underground in the Siahoo region, northeast of Bandar Abbas

M Gholamdokht Bandari<sup>1,\*</sup>, P Rezaee<sup>2</sup>, Z Gholamdokht Bandari<sup>3</sup>

1- Department of Engineering and Studies, Department of Natural Resources and Watershed Management of Hormozgan Province, Bandar Abbas, Iran

2- Department of Geology and Mangrove Forest Research Institute, Faculty of Basic Sciences, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran

3- Water and Soil Laboratory, Yazd, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 21 November 2017

**Revised:** 10 February 2018

**Accepted:** 17 February 2018

**Published:** 20 June 2018

**Keywords:** Drinking water,  
Water quality, Hydrochemistry  
index, Bandar Abbas

**\*Corresponding Author:**  
Gholamdokht.bandari@yahoo.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Water quality assessment is an important step for optimal and proper use of water resources for drinking and selection of suitable and consistent water quality patterns. Therefore, the necessity of studying water quality characteristics in water resource management programs has been highly considered.

**Materials and Methods:** In this study, the hydrogeochemical quality of groundwater resources in the Siahoo region of Bandar Abbas was studied for drinking, agricultural and industrial purposes. Qualitative parameters of three wells, three springs, one juicy aqueduct and one surface water sample were used as input data. Water quality characteristics and charts were evaluated using Aq.qa and AquaChem software.

**Results:** Groundwater of the studied area was in the category of very hard water. According to the PIPER chart, the dominant hydrochemical facies were sulfatecalcic and chlorofornate species. According to the Willcox and Schuller qualitative index, groundwater for agricultural use was moderate and was acceptable for drinking water. In terms of the saturation index of islands, the existing water resources are corrosive to the sediment.

**Conclusion:** The data of this study indicate that one of the problems of the available water resources in Siahoo region is the high amount of salt and soluble materials, which show the effect of geological formations (evaporation, Chile, carbonates) and salt domes on the groundwater resources and reduction of the quality of water resources.