



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

مقاله پژوهشی

کاربرد شاخص کیفیت آب (WQI) و هیدروژئوشیمی در ارزیابی کیفی آب سطحی، مخازن چاه نیمه استان سیستان و بلوچستان

هاشم حسینی^۱، عطا شاکری^{۱*}، محسن رضایی^۲، مجید دشتی برمکی^۱، مهدی شهرکی^۳

۱- گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۳- گروه تحقیقات کاربردی، شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: مخازن آب چاه نیمه در استان سیستان و بلوچستان مهمترین منبع تامین کننده آب شرب و کشاورزی هستند. بارش، جغرافیای حوضه آبریز، اتمسفر، زمین شناسی و فعالیت‌های انسانزاد فاکتورهای تاثیرگذار بر روی کیفیت آب مخازن چاه نیمه‌ها هستند. بنابراین پایش و ارزیابی کیفیت آب چهار مخزن چاه نیمه از اهداف اصلی این پژوهش است.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۰۵
تاریخ ویرایش: ۹۷/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۰۱
تاریخ انتشار: ۹۷/۱۲/۲۱

روش بررسی: نمونه برداری آب از ۸۴ ایستگاه در چاه نیمه‌ها، براساس روش‌های استاندارد در دو دوره (شهریور ماه ۱۳۹۶ و فروردین ماه ۱۳۹۷) صورت گرفت و یون‌های اصلی، کلیفرم، BOD، هدایت الکتریکی، ذرات جامد محلول، اسیدیته و نترات اندازه‌گیری شدند. نمودارهای پایپر و گیبس و روش‌های آماری برای تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی داده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور تعیین وضعیت کیفی آب از شاخص کیفیت آب (WQI) استفاده شد.

واژگان کلیدی: چاه نیمه، پارامترهای فیزیکوشیمیایی، تحلیل‌های آماری، شاخص کیفیت آب

یافته‌ها: نتایج تحلیل هیدروژئوشیمیایی نشان دهنده تغییر تیپ آب از بیکربناته سدیک و سولفاته سدیک به کلروره سدیک در طی دوره‌های نمونه برداری است. نمودار گیبس نشان داد که هوازدگی سنگ‌ها به‌طور عمده کنترل کننده شیمی یون‌های اصلی آب بوده است. نتایج تحلیل‌های آماری مشخص کرد که همبستگی بالایی میان پارامترهایی مانند کلیفرم، نترات، سولفات و کلر با شاخص کیفیت آب وجود دارد. نتایج پهنه‌بندی کیفی آب براساس شاخص WQI نشانگر کاهش کیفیت آب چاه نیمه‌ها به ترتیب چاه نیمه‌های ۳، ۲، ۱ و ۴ است.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه استفاده از روش WQI برای تفسیر آسان و سریع داده‌ها به‌منظور استفاده آب شرب، بسیار مفید بوده است. براساس تقسیم بندی WQI اکثر نمونه‌های آب در محدوده خوب تا ضعیف قرار گرفته‌اند.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

Shakeri1353@gmail.com

مقدمه

دسترسی به آب‌های سطحی و زیرزمینی و کیفیت آن با توجه به عوامل مهمی همچون افزایش جمعیت، توسعه کشاورزی، صنعتی شدن و شهرنشینی در جهان رو به کاهش است (۱). از این میان، منابع آب سطحی با توجه به رشد و توسعه، به‌شدت در معرض انواع آلاینده‌ها قرار دارند (۲). پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب آشامیدنی از اهمیت بالایی برخوردار هستند به‌نحوی که غلظت کم یا زیاد آنها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر سلامت انسان اثرگذار است (۳). عوامل طبیعی مانند تبخیر، جغرافیای حوضه آبریز و زمین‌شناسی منطقه و عوامل انسانی در کنترل ترکیبات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آب‌های سطحی نقش دارند (۴). از این رو تعیین وضعیت کیفی منابع آب برای اتخاذ راهکارهای مناسب به‌منظور جلوگیری از کاهش کیفیت و یا بهبود آن ضروری است (۵). شاخص‌های کیفی، روش‌هایی هستند که مقادیر ویژگی‌های کیفی آب را به یک عدد تبدیل می‌نمایند تا برای مدیریت و تحلیل کیفیت آب و همچنین پایش تغییرات کیفی آب در طول زمان و مکان مورد استفاده قرار گیرند (۶). شاخص کیفیت آب ((Water Quality Index (WQI)) یکی از تکنیک‌هایی است که برای ارزیابی کیفی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش نخستین بار در سال ۱۹۷۰ توسط Horton پیشنهاد شد. این شاخص معمولاً از مقدار پارامترهای عمومی آب شامل اکسیژن محلول، اسیدیته، سختی، مواد جامد محلول، دما، کدورت، نیترات، نیتريت و برخی یون‌های اصلی به‌دست می‌آید (۷). برخی از مطالعات از این تکنیک آماری با بکارگیری نمره وزنی هر پارامتر آنالیز شده، برای ارزیابی شاخص کیفیت آب استفاده می‌کنند (۸، ۹). WQI برای تعیین یک رده بندی آسان کیفیت آب در نسبت مقیاس اعداد کمتر از ۵۰ تا بیشتر از ۳۰۰ در نظر گرفته می‌شود که مقادیر بالا نشان‌دهنده کیفیت پایین‌تر و مقادیر کمتر نشان‌دهنده کیفیت بالاتر آب است. این روش به تفسیر کیفیت آب در مقادیر عددی کمک می‌کند (۱۰-۱۳).

در کشور ایران بدلیل کمبود بارش، تامین آب شرب و کشاورزی

در برخی قسمت‌ها از منابع آب سطحی بویژه مخازن سدها صورت می‌گیرد. در استان سیستان و بلوچستان آب شرب شهرهای زاهدان، زابل، زهک و روستاهای مسیر از چاه‌نیمه‌های ۱، ۲ و ۳ تامین می‌شود و از چاه نیمه ۴ که بیشترین حجم ذخیره آب را دارد، بدلیل TDS (مواد جامد محلول) بالاتر برای انجام فعالیت‌های کشاورزی، تفریحی و ماهیگیری استفاده می‌شود. ظرفیت فعلی چاه‌نیمه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ در مجموع معادل ۱۵۳۰ میلیون متر مکعب است (۱۴) که در محدوده شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان قرار دارند. این مخازن به‌منظور ذخیره مازاد رودخانه سیستان، خارج از مسیر رودخانه به هم متصل شده و آبگیری می‌شوند (۱۵). بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که شاخص کیفیت آب (WQI) توسط تعدادی از محققین بویژه در مخازن سدهای کشور مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶-۱۸). در خصوص منطقه مورد مطالعه، Gholamalizadeh Ahangar و همکاران (۱۹) برخی پارامترهای کیفی آب و غلظت فلزات سنگین را در آب مخزن چاه‌نیمه ۱ مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده مقادیر فراتر از حد مجاز را برای عناصر آهن و منگنز نشان داد. Aali و همکاران (۲۰) در سال ۲۰۱۲ با استفاده از شاخص NFSWQI به تحلیل کیفی آب چاه نیمه‌های ۱، ۲ و ۳ پرداختند. نتایج نشان‌دهنده شرایط خوب آب در این چاه‌نیمه‌ها بوده است. در این تحقیق شاخص WQI که دربردارنده ۱۳ پارامتر pH، TH، TDS، Ca، Mg، Na، K، HCO₃، Cl، SO₄، Coliform، BOD و NO₃ است، برای تحلیل کیفیت آب چاه‌نیمه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که نتایج دقیق‌تری را نسبت به مطالعات پیشین ارائه خواهد نمود. بطور کلی هدف اصلی این تحقیق ارزیابی کیفی و تحلیل هیدروژئوشیمیایی آب چاه‌نیمه‌ها است.

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده استان سیستان و بلوچستان و کشور افغانستان بین مدار ۳۰°۴۴' و ۳۰°۵۱'، و نصف النهارهای

ایستگاه در چاه‌نیمه‌ها نمونه‌برداری آب انجام شد (شکل ۱). قبل از نمونه‌برداری، ظروف پلی‌اتیلن با استفاده از روش اسیدشویی استریل و سه بار نیز با آب مورد نظر شستشو داده شد. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب مانند pH، EC، TDS و دما در محل نمونه‌برداری و با استفاده از دستگاه قابل حمل HACK با دقت $0.1 \mu\text{s/cm}$ برای EC و 0.1 برای pH اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت کاتیون‌های اصلی ابتدا نمونه‌های آب فیلتر شده ($0.45 \mu\text{m}$) و با اسید نیتریک pH آنها به زیر ۲ آورده شد سپس برای آنالیز به روش ICP-MS به آزمایشگاه ارسال شد. آنیون‌های اصلی آب همراه با نیترات، کلیفرم و BOD در آزمایشگاه‌های مربوطه اندازه‌گیری شدند. تمام نمونه‌ها از زمان نمونه‌برداری تا آزمایشگاه، در دمای زیر 4°C نگهداری شدند. صحت و دقت نتایج داده‌ها با استفاده از نمونه‌های استاندارد و تکرار آزمایش (۵ نمونه) بررسی شد و درصد بازیابی بین ۸۷ تا ۱۰۱ درصد محاسبه شد.

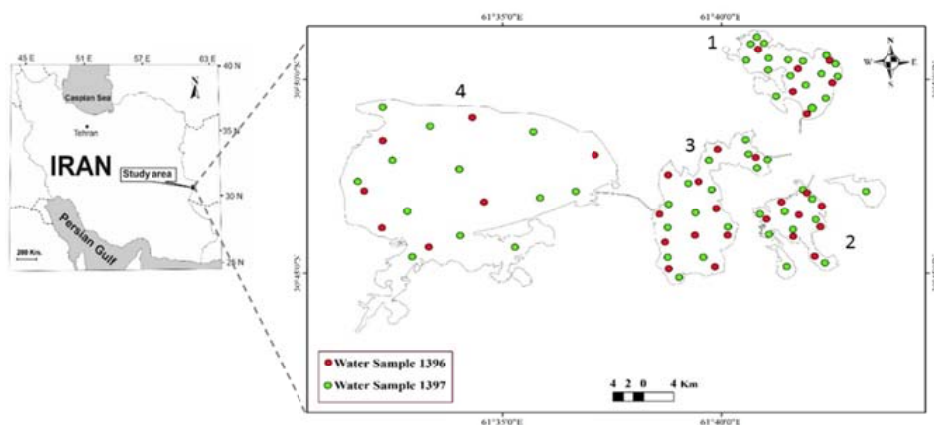
روش شناسی تحلیل داده‌ها

در این تحقیق به‌منظور تجزیه و تحلیل نتایج از شاخص‌های هیدروژئوشیمیایی، شاخص کیفیت آب (WQI) و روش‌های آماری با استفاده از نرم افزارهای ۱-۵-۱، Aq.QA، SPSS، ۲۴ و Excel استفاده شد. در تحلیل هیدروژئوشیمیایی داده‌ها از نمودار گیبس و پایپر استفاده شد. در نمودار پایپر

$61^\circ31'$ و $61^\circ43'$ قرار گرفته است (شکل ۱). مخازن چاه‌نیمه در ۳۵ کیلومتری زابل و در شهرستان زهک واقع شده است. این منطقه از شمال، مشرق و جنوب به دشت‌های پست و هموار و شن‌زارهای پهناور منتهی می‌گردد. مناطق جنوبی و جنوب غربی چاه‌نیمه‌ها فاقد پوشش گیاهی و یا دارای پوشش گیاهی ناچیز هستند. محدوده‌های شمال و غرب مخازن چاه‌نیمه که محدوده شهرهای زهک و زابل (دورتر) است، از خاک‌های حاصلخیز تشکیل شده‌اند و وضعیت پوشش گیاهی بهتری نسبت به جنوب و جنوب غربی چاه‌نیمه‌ها دارند. میانگین سالانه دما و بارش در منطقه مطالعاتی به ترتیب 22.9°C و 46.1 mm است (۲۱). منبع آب سطحی دشت سیستان منحصر به رودخانه هیرمند (سیستان) است که عمده حوضه آبریز آن با مساحتی بالغ بر 270000 km^2 در خاک کشور افغانستان قرار دارد (۱۵). رسوبات منطقه از جنس ماسه، سیلت و رس تشکیل شده است. تنها منبع تامین آب سیستان، رواناب سطحی رودخانه هیرمند است. در واقع خشکسالی و ترسالی این منطقه به نوسانات این رود بستگی دارد (۲۲).

نمونه‌برداری و روش‌های آزمایشگاهی

در این تحقیق نمونه‌برداری از آب مخازن چاه‌نیمه‌ها به روش استاندارد در دو دوره (شهریور ماه ۹۶ و فروردین ماه ۹۷) صورت گرفت. در دوره اول از ۳۱ ایستگاه و در دوره دوم از ۵۳



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مخازن چاه‌نیمه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

استفاده در این تحقیق ضریب همبستگی و تحلیل نمودار درختی است. در این شاخص پارامترهای pH، TH، TDS، Ca، Mg، Na، K، HCO_3^- ، Cl، SO_4^{2-} ، Coliform، BOD و NO_3^- مورد استفاده قرار گرفت. محاسبات WQI شامل سه مرحله زیر است (۲۵):

- گام اول "وزن دهی" است که برای هر پارامتر با توجه به اهمیت نسبی آن یک وزن خاص اختصاص داده شده است (جدول ۱).

- گام دوم که "محاسبه وزن نسبی" است با استفاده از معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

در این معادله W_i وزن هر پارامتر و n تعداد پارامترها است.

می‌توان تعداد زیادی نمونه را در یک دیاگرام نشان داد و با استفاده از آن، تیپ آب را تعیین نمود که در تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمودار پایپر از ترکیب سه میدان مجزا تشکیل شده است که درصد آنیون‌ها و کاتیون‌ها را در محدوده‌های مثلثی و موقعیت ترکیبی آنها را در محدوده لوزی شکل پیاده می‌کنند. بنابراین نمودار پایپر ابزار مفیدی برای نشان دادن تفاوت‌ها و شباهت‌ها بین آب‌ها است (۲۳). برای بررسی ساز و کارهای کنترل‌کننده شیمی آب‌های سطحی از نمودار گیبس استفاده می‌شود. این نمودار ابزاری موثر برای شناسایی فرایندهای ژئوشیمیایی (همانند بارش، واکنش آب-سنگ و تبخیر) کنترل‌کننده خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آب سطحی است. این نمودار بطور گسترده‌ای برای برقراری ارتباط بین ترکیبات آب و خصوصیات بستر سنگی به کار می‌رود (۲۴). مهمترین روش آماری مورد

جدول ۱- وزن نسبی پارامترهای فیزیکی شیمیایی (استاندارد ۲۰۱۱، WHO) (۲۶)

| پارامترهای شیمیایی | واحد | استاندارد WHO | وزن | نسبت وزنی |
|--------------------|-----------|---------------|-----|-----------|
| pH | - | ۸/۵-۶/۵ | ۴ | ۰/۰۹۸ |
| Hardness | mg/L | ۵۰۰ | ۳ | ۰/۰۷۳ |
| TDS | mg/L | ۱۵۰۰ | ۵ | ۰/۱۲۲ |
| Ca | mg/L | ۲۰۰ | ۲ | ۰/۰۴۹ |
| Mg | mg/L | ۱۵۰ | ۱ | ۰/۰۲۴ |
| K | mg/L | ۱۲ | ۲ | ۰/۰۴۹ |
| Na | mg/L | ۵۰ | ۲ | ۰/۰۴۹ |
| HCO_3^- | mg/L | ۱۲۰ | ۳ | ۰/۰۷۳ |
| Cl | mg/L | ۲۵۰ | ۳ | ۰/۰۷۳ |
| SO_4^{2-} | mg/L | ۲۵۰ | ۴ | ۰/۰۹۸ |
| NO_3^- | mg/L | ۱۰ | ۴ | ۰/۰۹۸ |
| BOD | mg/L | ۵ | ۳ | ۰/۰۷۳ |
| Coliform | MPN/۱۰۰mL | ۰ | ۵ | ۰/۱۲۲ |
| Total | - | - | ۴۱ | ۱ |

یافته‌ها

غلظت پارامترهای مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. در ایستگاه‌های شمال شرق چاه‌نیمه ۱ بالاترین غلظت کلر و سولفات و مقدار TDS اندازه‌گیری شد که مربوط به ایستگاه‌های پساب خروجی دانشگاه است. BOD در دو ایستگاه پساب خروجی دانشگاه در حاشیه چاه‌نیمه ۱ و همچنین ۳ ایستگاه نمونه برداری در چاه‌نیمه ۴ به دلیل رشد بسیار بالای ماکرو جلبک‌ها (ناشی از عدم رعایت مدیریت پسماند و فعالیت‌های تفریحی) مقادیر بالاتری را نسبت به ایستگاه‌های دیگر نشان داده‌اند.

برای تعیین تیپ و رخساره‌های هیدروشیمیایی چاه‌نیمه‌ها، از نمودار پایپر استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در شهریور ماه ۹۶، ۴۲/۵ درصد از نمونه‌ها دارای تیپ سولفات سدیک، ۴۸/۵ درصد دارای تیپ بیکربناته سدیک و ۹ درصد دارای تیپ کلروره سدیک و در برداشت فروردین ماه ۹۷، ۷۷/۷ درصد نمونه‌ها دارای تیپ کلروره سدیک و ۲۲/۳ درصد از نمونه‌ها دارای تیپ بیکربناته سدیک بوده است (نمودار ۱).

- گام سوم "محاسبه مقیاس نرخ کیفیت" است. این مقیاس (q_i) با تقسیم غلظت هر پارامتر در هر نمونه آب بر مقدار استاندارد آن پارامتر محاسبه می‌شود (معادله ۲).

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (2)$$

که در آن C_i غلظت و S_i استاندارد هر پارامتر شیمیایی در نمونه آب بر حسب mg/L است. سپس، برای برآورد WQI، SI (زیرشاخصی از پارامتر n ام) برای هر پارامتر شیمیایی با معادلات ۳ و ۴ تعیین می‌شود:

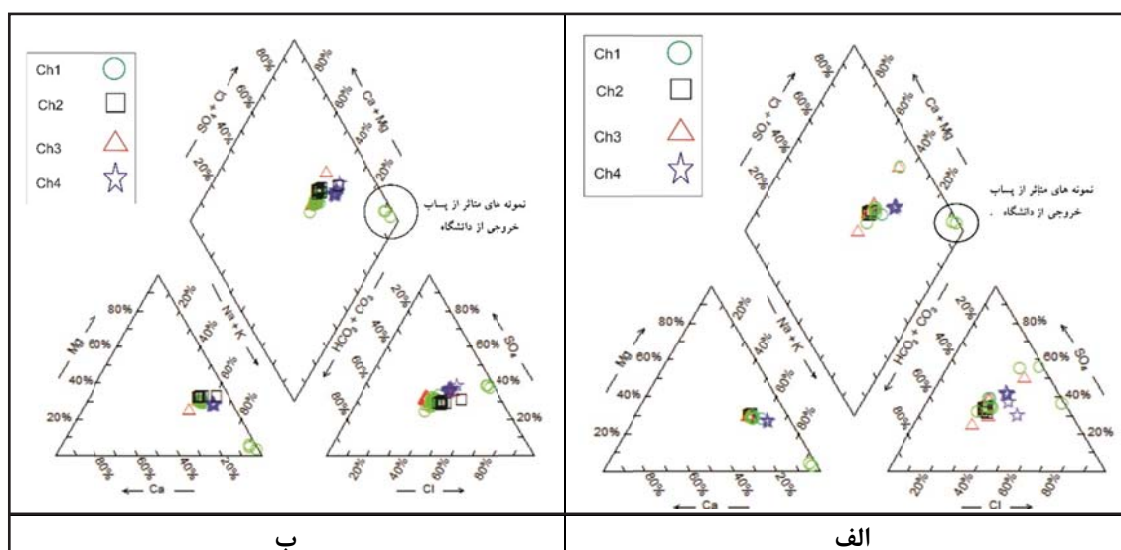
$$SI_i = W_i \times q_i \quad (3)$$

$$WQI = \sum SI_i \quad (4)$$

مقدار WQI به دست آمده، برای تعیین رده‌بندی کیفیت آب طبقه بندی می‌شود (۲۷). در این طبقه بندی آب‌های با WQI کمتر از ۵۰ در رده بسیار خوب، ۵۰ تا ۱۰۰ در رده خوب، ۱۰۰ تا ۲۰۰ در رده ضعیف، ۲۰۰ تا ۳۰۰ در رده بسیار ضعیف و بالاتر از ۳۰۰ در رده آب نامناسب برای آشامیدن قرار می‌گیرند.

جدول ۲- داده‌های آماری پارامترهای کیفی مورد مطالعه در چاه‌نیمه‌ها

| پارامتر | واحد | فروردین ماه ۹۷ | | | شهریور ماه ۹۶ | | |
|------------------|-----------|----------------|-------|--------|---------------|-------|--------|
| | | انحراف معیار | کمینه | بیشینه | انحراف معیار | کمینه | بیشینه |
| pH | - | ۰/۳۵ | ۷/۹ | ۱۰/۳ | ۰/۲ | ۸/۲ | ۸/۶ |
| TDS | mg/L | ۳۱۵۱ | ۷۰۲ | ۱۹۷۷۷ | ۱۱۵۸ | ۳۸۰ | ۶۷۰۰ |
| TH | mg/L | ۱۵۴/۱ | ۲۱۴ | ۱۳۲۲ | ۸۵/۲ | ۲۲۸ | ۶۰۴ |
| HCO ₃ | mg/L | ۳۶/۶ | ۱۰۲ | ۶۴۶ | ۲۳/۹ | ۱۸۰ | ۲۹۲ |
| Cl | mg/L | ۱۰۹۰ | ۱۴۲ | ۶۵۷۸ | ۱۰۸۰ | ۸۸۷ | ۵۸۳۱ |
| SO ₄ | mg/L | ۹۴۸/۳ | ۱۴۱ | ۵۹۱۸ | ۱۰۳۹ | ۱۰۴ | ۴۶۱۷ |
| NO ₃ | mg/L | ۱۵/۱ | ۰/۰۵ | ۱۰۶ | ۱۸/۹ | ۰/۸ | ۱۰۱ |
| Ca | mg/L | ۲۰/۴ | ۱۴/۱ | ۱۷۵ | ۱۶/۴ | ۲۹ | ۱۱۱ |
| Mg | mg/L | ۲۵/۹ | ۳۴ | ۲۱۵ | ۱۲/۲ | ۳۴/۲ | ۷۹/۴ |
| Na | mg/L | ۱۰۲۷ | ۱۲۲/۸ | ۶۲۲۰ | ۱۱۵۷ | ۱۱۸/۳ | ۵۷۸۰ |
| K | mg/L | ۳/۲۵ | ۴/۹۵ | ۲۵/۳ | ۲/۳ | ۴/۹ | ۱۵/۱ |
| Coliform | MPN/۱۰۰mL | ۱۵۲/۸ | <۳ | ۱۱۰۰ | ۶/۱ | <۳ | ۲۲ |
| BOD | mg/L | ۴۷ | ۰ | ۱۹۸ | ۴/۴ | ۵/۷ | ۳۱ |

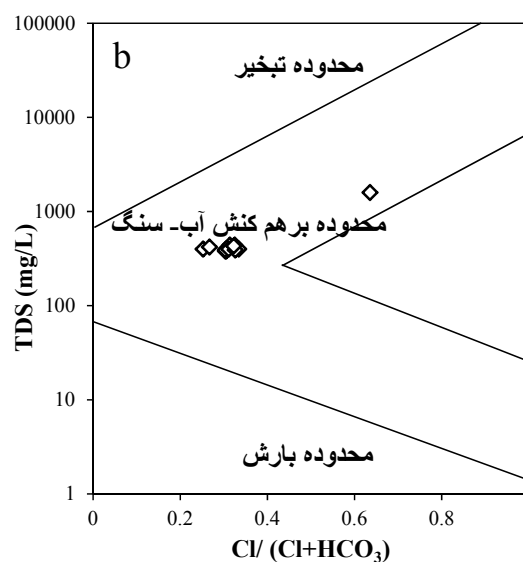
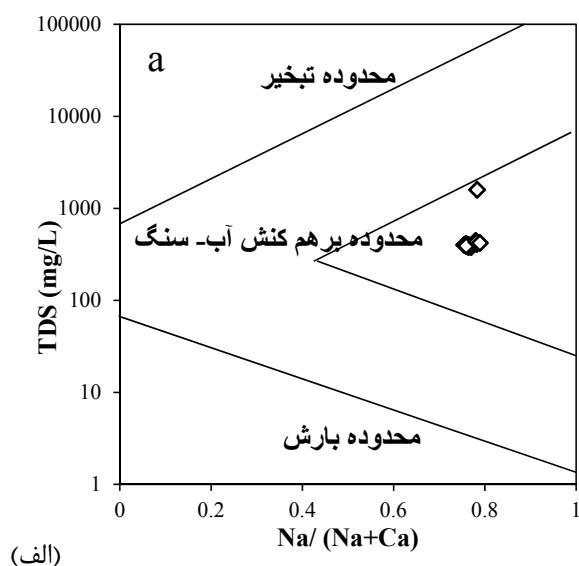


نمودار ۱- نمودار پاپیر آب چاه‌نیمه‌ها (الف) شهریور ۹۶ (ب) فروردین ۹۷

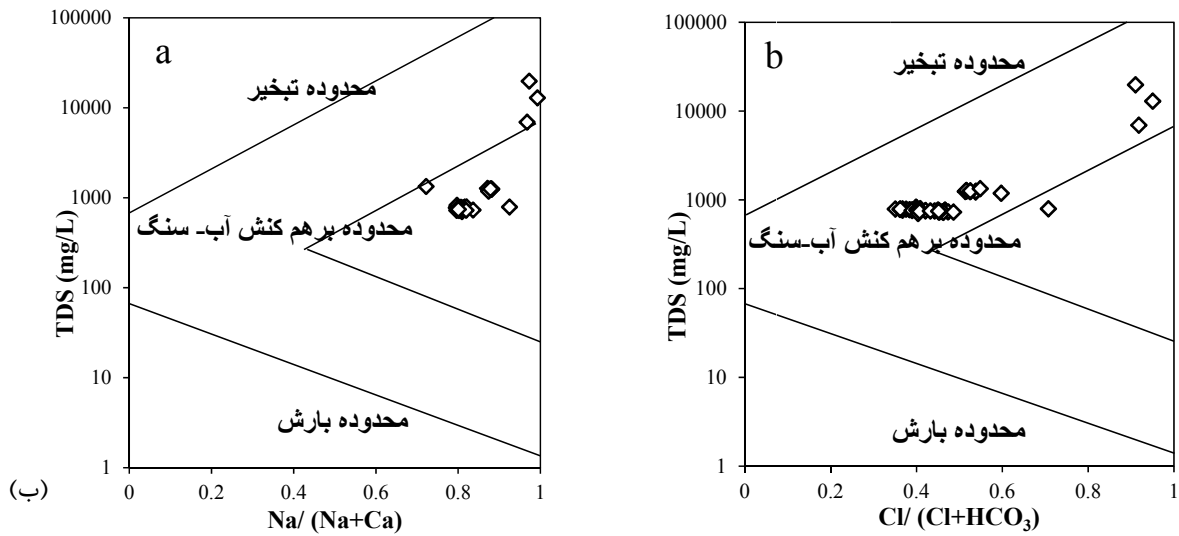
گیس در ایستگاه‌های انتخابی را نشان می‌دهد. بر این اساس، تقریباً تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب برای شهریور ماه ۹۶ در محدوده غالب برهم‌کنش آب-سنگ (یا هوازدگی) قرار می‌گیرند. در نمونه‌برداری فروردین ماه ۹۷ ایستگاه‌های مجاور پساب خروجی دانشگاه (CH۱-۲۵, CH۱-۲۷, CH۱-۳۰) در محدوده تبخیری نمودار گیس قرار می‌گیرند.

- نمودار گیس

تعیین تاثیر تبخیر، نزولات جوی یا برهم‌کنش آب-سنگ در محیط هیدروژئوشیمیایی یکی از روش‌های کاربردی در علوم محیطی و آب است. از این‌رو، از نمودار گیس برای تعیین فرایندهای ژئوشیمیایی طبیعی موثر بر شیمی آب در منطقه مطالعاتی استفاده شده است. نمودار ۲ (الف و ب) نمودار



نمودار ۲- نمودارهای گیس آب چاه‌نیمه‌ها (الف) شهریور ۹۶ (ب) فروردین ۹۷

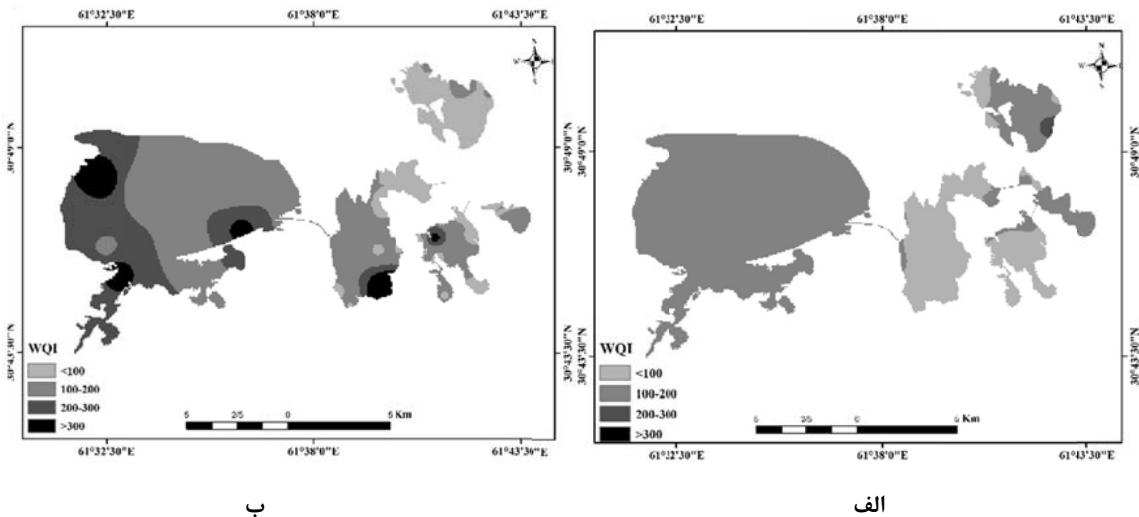


ادامه نمودار ۲- نمودارهای گیبس آب چاه‌نیمه‌ها الف) شهریور ۹۶ ب) فروردین ۹۷

- شاخص کیفیت آب (WQI)

نمونه‌ها در رده خوب، ۴۵/۱ درصد در رده ضعیف و ۶/۴۵ درصد از نمونه‌ها در رده غیرقابل آشامیدن قرار داشتند، در صورتی‌که برای فروردین ماه ۹۷، ۶۱/۱ درصد نمونه‌ها در رده خوب، ۲۴ درصد در رده ضعیف، ۱/۸۵ درصد در رده بسیار ضعیف و ۱۵ درصد در رده غیرقابل آشامیدن قرار داشتند.

شاخص کیفیت آب براساس WQI برای چاه‌نیمه‌ها محاسبه شد که نتایج آن به صورت نقشه پهنه‌بندی کیفی در شکل ۲ ارائه شده است. براساس رده‌بندی‌های کیفی صورت گرفته، چاه‌نیمه ۴ کیفیت پایین‌تری نسبت به دیگر چاه‌نیمه‌ها دارد. براساس نتایج WQI برای شهریور ماه ۹۶، ۴۸/۴ درصد از



شکل ۲- پهنه‌بندی کیفی مخازن آب چاه‌نیمه‌ها در دو دوره نمونه‌برداری الف) شهریور ۹۶ ب) فروردین ۹۷

در این مطالعه از روش تحلیل خوشه‌ای (Cluster) برای گروه‌بندی پارامترهای انتخابی استفاده شد و در آن نمودار ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب براساس شباهت ترکیب شیمیایی گروه‌بندی شدند. نتایج این روش در نمودار ۳ نشان داده شده است.

بحث

آنچه از نمودار پایپر نتیجه می‌شود حاکی از تغییر تیپ غالب منابع آبی از بیکربناته سدیک و سولفات‌سه سدیک در شهرریور ۹۶ به کلروره سدیک در فروردین ۹۷ است. کاهش جریان آب ورودی از افغانستان به چاه‌نیمه‌ها از مهمترین دلایل این تغییر

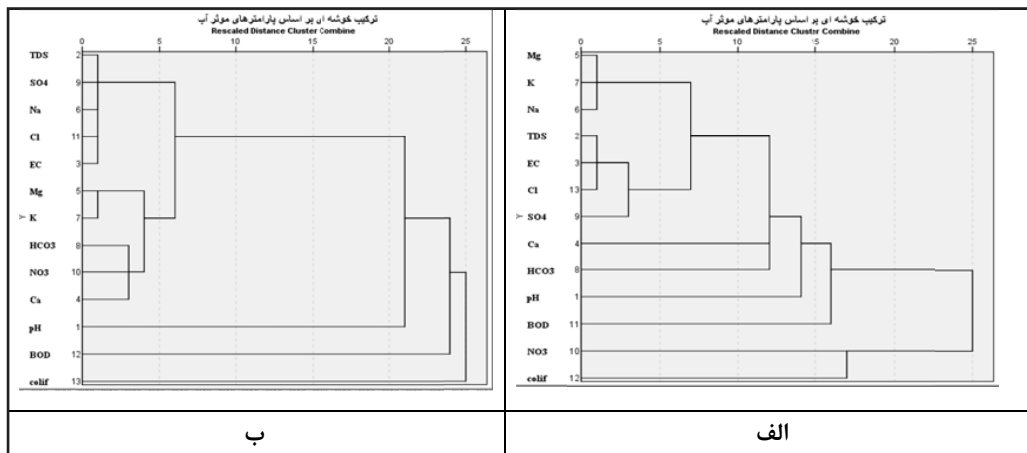
- تحلیل‌های آماری
در جدول ۳ و ۴ ضریب همبستگی (Correlation coefficient) پارامترهای انتخابی (۱۳ مورد) و WQI برای دو دوره نمونه‌برداری ارائه شده است. بررسی نتایج برای ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شهریور ۹۶ نشان داد که بین کلسیم، سولفات و کلر همبستگی بالایی وجود دارد همچنین نیترات، کلر و سولفات با WQI همبستگی مثبت بالایی دارند. در فروردین ۹۷ کلر با سولفات، کلسیم با بی‌کربنات و منیزیم با پتاسیم همبستگی مثبت بالایی نشان دادند که از این میان عامل کلیفرم بالاترین ضریب همبستگی با WQI را در فروردین ۹۷ نشان می‌دهد.

جدول ۳- همبستگی پارامترهای مختلف آب با شاخص کیفیت آب (شهریور ۹۶)

| Parameter | pH | TDS | TH | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | NO ₃ | Ca | Mg | Na | K | colif | BOD | WQI |
|------------------|-------|-------|-------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------------|-----|
| pH | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| TDS | -0.31 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| TH | 0.08 | 0.71 | 1 | | | | | | | | | | | |
| HCO ₃ | 0.16 | -0.15 | -0.09 | 1 | | | | | | | | | | |
| Cl | 0.08 | 0.49 | 0.86 | -0.41 | 1 | | | | | | | | | |
| SO ₄ | -0.12 | 0.77 | 0.90 | -0.40 | 0.93 | 1 | | | | | | | | |
| NO ₃ | 0.02 | 0.47 | 0.76 | -0.49 | 0.96 | 0.90 | 1 | | | | | | | |
| Ca | -0.11 | 0.71 | 0.91 | -0.37 | 0.95 | 0.98 | 0.91 | 1 | | | | | | |
| Mg | 0.25 | 0.64 | 0.94 | 0.15 | 0.69 | 0.72 | 0.55 | 0.74 | 1 | | | | | |
| Na | -0.02 | 0.63 | 0.90 | -0.40 | 0.98 | 0.98 | 0.95 | 0.99 | 0.72 | 1 | | | | |
| K | 0.28 | 0.55 | 0.96 | 0.04 | 0.78 | 0.75 | 0.65 | 0.78 | 0.98 | 0.78 | 1 | | | |
| colif | 0.04 | -0.20 | -0.23 | -0.07 | -0.15 | -0.16 | -0.09 | -0.16 | -0.27 | -0.15 | -0.25 | 1 | | |
| BOD | 0.06 | 0.44 | 0.81 | -0.36 | 0.94 | 0.86 | 0.88 | 0.87 | 0.67 | 0.91 | 0.76 | -0.09 | 1 | |
| WQI | -0.03 | 0.65 | 0.89 | -0.41 | 0.97 | 0.98 | 0.94 | 0.98 | 0.71 | 0.99 | 0.77 | -0.03 | 0.91 | 1 |

جدول ۴- همبستگی پارامترهای مختلف آب با شاخص کیفیت آب (فروردین ۹۷)

| Parameter | pH | TDS | TH | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | NO ₃ | Ca | Mg | Na | K | Colif | BOD | WQI |
|------------------|-------|-------------|-------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------|-------|-------------|------|-----|
| pH | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| TDS | 0.23 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| TH | 0.12 | 0.84 | 1 | | | | | | | | | | | |
| HCO ₃ | -0.15 | 0.73 | 0.88 | 1 | | | | | | | | | | |
| Cl | 0.25 | 1.00 | 0.82 | 0.70 | 1 | | | | | | | | | |
| SO ₄ | 0.23 | 1.00 | 0.85 | 0.73 | 1.00 | 1 | | | | | | | | |
| NO ₃ | 0.02 | 0.80 | 0.88 | 0.83 | 0.78 | 0.81 | 1 | | | | | | | |
| Ca | -0.10 | 0.78 | 0.94 | 0.86 | 0.76 | 0.78 | 0.87 | 1 | | | | | | |
| Mg | 0.22 | 0.84 | 0.98 | 0.85 | 0.82 | 0.84 | 0.84 | 0.86 | 1 | | | | | |
| Na | 0.24 | 1.00 | 0.83 | 0.71 | 1.00 | 1.00 | 0.79 | 0.76 | 0.82 | 1 | | | | |
| K | 0.18 | 0.73 | 0.92 | 0.82 | 0.71 | 0.73 | 0.74 | 0.74 | 0.96 | 0.72 | 1 | | | |
| Colif | -0.13 | 0.23 | 0.09 | -0.06 | 0.23 | 0.23 | 0.34 | 0.22 | 0.02 | 0.23 | -0.10 | 1 | | |
| BOD | 0.07 | -0.06 | 0.08 | -0.01 | -0.07 | -0.06 | -0.06 | -0.05 | 0.14 | -0.06 | 0.24 | -0.07 | 1 | |
| WQI | -0.04 | 0.49 | 0.33 | 0.16 | 0.50 | 0.50 | 0.53 | 0.42 | 0.27 | 0.50 | 0.15 | 0.95 | 0.02 | 1 |



نمودار ۳- نمودار خوشه‌ای آب چاه نیمه‌ها در دو مرحله نمونه‌برداری (الف) شهریور ۹۶ (ب) فروردین ۹۷

چاه‌نیمه‌ها، تبخیر بالای منطقه و تداوم ورود آلاینده‌های انسانی است. این یافته‌ها در مقایسه با نتایج به‌دست آمده در تحقیقاتی که Aali و همکاران در پهنه‌بندی کیفی آب چاه‌نیمه‌های ۱، ۲ و ۳ در سال ۹۲ با استفاده از شاخص NSFQI انجام دادند و شاهد کاهش کیفیت آب این مخازن در ماه‌های گرم سال نسبت به ماه‌های سرد سال گزارش نمودند مشابه است (۲۰). در چاه‌نیمه ۱ پساب خروجی از دانشگاه و سایر کاربری‌های واقع در شرق این چاه‌نیمه باعث کاهش کیفیت آب شده است و در چند ایستگاه، کیفیت آب در محدوده ضعیف قرار دارد که این نتایج با یافته‌های به‌دست آمده از مطالعات Gholamalizadeh Ahangar و همکاران در اندازه‌گیری برخی پارامترهای کیفیت آب در مخزن چاه‌نیمه ۱ که در سال ۹۳ صورت گرفته است و شاهد کیفیت خوب آب در همه ایستگاه‌ها بودند مطابقت ندارد (۱۹). در این میان چاه‌نیمه ۳ که تامین کننده اصلی آب شرب شهرهای زاهدان، زابل و زهک است نسبت به سایر چاه‌نیمه‌ها از کیفیت بالاتری برخوردار است. نتایج مطالعات آماری نشان داد که همبستگی بالایی بین پارامترهایی نظیر کلیفرم، نیترات، سولفات و کلر با شاخص کیفیت آب (WQI) وجود دارد. مقادیر بالای اندازه‌گیری شده کلیفرم در بعضی از نقاط نمونه‌برداری می‌تواند به دلیل افزایش استفاده از این منطقه به‌عنوان مکان تفریحی و گردشگری

تیپ است. همچنین وجود سازندهای دارای کانی‌های تبخیری و تبخیر بالا بر تیپ آب چاه‌نیمه‌ها تاثیرگذار است. سدیم را می‌توان مهمترین و تنها کاتیون غالب در تعیین خصوصیات شیمیایی چاه‌نیمه‌ها دانست. ترتیب رخساره آنیون‌ها در شهریور ۹۶ به شرح $Cl > HCO_3 > SO_4$ و در فروردین ۹۷ به شرح $Cl > HCO_3$ است. در نمونه‌های فروردین ۹۷، تیپ غالب چاه‌نیمه ۳ بیکربناته سدیک و در دیگر چاه‌نیمه‌ها کلروره سدیک است. نمونه‌های برداشت شده از حاشیه شرقی چاه‌نیمه ۱ (متاثر از پساب خروجی از دانشگاه) تیپ هیدروشمیایی متفاوتی نسبت به سایر نمونه‌ها دارند. بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی آب چاه‌نیمه‌ها براساس نمودارهای گیبس نشان داد که اگرچه برهم‌کنش آب-سنگ (هوازدگی کانی‌های کربناته و سولفات) تاثیر مهمی بر فرایندهای ژئوشیمیایی کنترل کننده منابع آبی در سال ۹۶ دارد، اما کاهش سطح آب چاه‌نیمه‌ها به دلیل تبخیر بالا و عدم ورودی آب از رودخانه هیرمند باعث تمایل تدریجی قلمروی ژئوشیمیایی منابع آبی از محدوده برهم‌کنش آب-سنگ به سمت محدوده تبخیر در مرحله دوم نمونه‌برداری (فروردین ۹۷) شده است. مقایسه نتایج پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب (WQI) حاکی از کاهش کیفیت آب چاه‌نیمه‌ها در نمونه برداری فروردین ماه ۹۷ نسبت به شهریور ماه ۹۶ است، که ناشی از کاهش سطح آب به دلیل عدم ورود جریان آب به

به منظور کنترل ورود انواع آلاینده‌ها تعیین شود. این امر مستلزم رعایت حریم قانونی بویژه در حاشیه چاه‌نیمه ۱ توسط مراکز آموزشی، خدماتی و تفریحی (دانشگاه، شهرداری، شیلات و ...) و ممنوعیت قایقرانی، ماهیگیری، ورود دام، استقرار جوامع انسانی و هرگونه فعالیت انسانی تا فاصله ۵۰۰ متری از ساحل چاه‌نیمه‌های ۱، ۲ و ۳ است. لازم است که منابع آب با استفاده از راهکارهای فیزیکی مانند فنس‌کشی، ایجاد دیوار و حایل (برای چاه‌نیمه‌های ۱، ۲ و ۳ حریم ۵۰۰ متری) و چاه‌نیمه ۴ (حریم ۳۰۰ متری) حفاظت شوند. رشد وسیع ماکرو جلبک‌ها بویژه در حاشیه چاه‌نیمه‌ها و عدم وجود مدیریت پساب و پسماند، ضرورت مطالعات تغذیه‌گرایی را نشان می‌دهد. همچنین تعیین و تامین دبی پایه آب ورودی به چاه‌نیمه‌ها به منظور پایداری و مدیریت کیفی بهینه چاه‌نیمه‌ها بسیار ضروری 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 حاصل (بخشی از) پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان "هیدروژئوشیمی، آلودگی فلزات سنگین و ارزیابی ریسک سلامت مخازن آب چاه‌نیمه‌های استان سیستان و بلوچستان، شرق ایران" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۷ است که با حمایت معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه خوارزمی و شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان اجرا شده است.

References

1. Tyagi PK, Shruti SV, Ahuja A. Synthesis of metal nanoparticles: A biological prospective for analysis. *International Journal of Pharmaceutical Innovations*. 2012;4:48-60.
2. UNEP. A snapshot of the world's water quality: towards a global assessment. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme; 2016.
3. Jonnalagadda S, Mhere G. Water quality of the Odzi

توسط ساکنان منطقه و دفع فاضلاب انسانی باشد. در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری، پارامترهای مؤثر در کیفیت آب پایین‌تر از حد مجاز شرب بر طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) بودند و تنها در بعضی از ایستگاه‌ها (چاه‌نیمه ۴ و پساب خروجی از دانشگاه) مقادیر بالا باعث افزایش میانگین پارامترهای مؤثر بر کیفیت شده‌اند.

تحلیل خوشه‌ای نشان‌دهنده تاثیر هدایت الکتریکی بر غلظت کلر و سولفات نسبت به دیگر یون‌ها است. آنچه از نتایج تحلیل خوشه‌ای استنباط می‌شود تایید کننده قرابت بالای کلسیم با بی‌کربنات و نیز منیزیم با پتاسیم است. نتایج به‌دست آمده منطبق بر نتایج همبستگی است.

نتیجه‌گیری

منابع مهم آب سطحی جهان با توجه به رشد جمعیت، توسعه کاربری‌های جدید (صنعتی و کشاورزی) و تقاضا برای تامین آب، از نظر کمی و کیفی در معرض خطر هستند. بنابراین، توجه به تغییرپذیری مکانی آلاینده‌های مختلف و طیف گسترده شاخص‌های مختلف (شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. براساس تقسیم‌بندی WQI اکثر نمونه‌های آب مخازن چاه نیمه‌ها در محدوده خوب تا ضعیف قرار گرفته‌اند. نتایج پهنه‌بندی کیفی آب براساس شاخص WQI نشانگر کاهش کیفیت آب چاه‌نیمه‌ها به ترتیب ۳، ۲، ۱ و ۴ است. بنابراین، برای کنترل کیفی مخازن چاه‌نیمه‌ها پیشنهاد می‌شود شبکه پایش کیفی چاه‌نیمه‌ها برای انواع آلاینده‌ها طراحی و به مدت سه سال نمونه برداری و پایش انجام شود و در ادامه شبکه پایش کیفی برای درازمدت بهینه‌سازی شود. همچنین نیاز است که حریم کیفی چاه‌نیمه‌ها

River in the eastern highlands of Zimbabwe. *Water Research*. 2001;35(10):2371-76.

4. Mishra BK, Regmi RK, Masago Y, Fukushi K, Kumar P, Saraswat C. Assessment of Bagmati River pollution in Kathmandu Valley: scenario-based modeling and analysis for sustainable urban development. *Sustainability of Water Quality and Ecology*. 2017;9:67-77.
5. Fernández N, Ramírez A, Solano F. Physico-chemi-

- cal water quality indices- a comparative review Bistua Revista de la Facultad de Ciencias Basicas. 2004;2(1):19-30.
6. Carbajal-Hernández JJ, Sánchez-Fernández LP, Villa-Vargas LA, Carrasco-Ochoa JA, Martínez-Trinidad JF. Water quality assessment in shrimp culture using an analytical hierarchical process. Ecological indicators. 2013;29:148-58.
 7. Lobato T, Hauser-Davis R, Oliveira T, Silveira A, Silva H, Tavares M, et al. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. Journal of Hydrology. 2015;522:674-83.
 8. Toledo LGd, Nicolella G. Water quality index for agricultural and urban watershed use. Scientia Agricola. 2002;59(1):181-86.
 9. Haase J, Krieger JAH, Possoli S. Estudo da viabilidade do uso da técnica de análise factorial como um instrumento na interpretação da qualidade da água da bacia hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil. Ciência e Cultura. 1989;41(6):576-82 (in Portuguese).
 10. Brown RM, McClelland NI, Deininger RA, O'Connor MF. A water quality index—crashing the psychological barrier. USA: Springer; 1972.
 11. Dinius S. Social accounting system for evaluating water resources. Water Resources Research. 1972;8(5):1159-77.
 12. Horton RK. An index number system for rating water quality. Journal of Water Pollution Control Federation. 1965;37(3):300-306.
 13. Lohani BN, Todino G. Water quality index for Chao Phraya river. Journal of Environmental Engineering. 1984;110(6):1163-76.
 14. Vekerdy Z, Dost R, Reinink G, Partow H. History of environmental change in the Sistan Basin based on satellite image analysis: 1976-2005. Geneva: United Nations Environment Programme; 2006.
 15. Mirdar-Harijani J. Assessment of physicochemical characteristics of Chahnimeh water and fish farms. Zabol: Zabol University; 2007 (in Persian).
 16. Javid AH, Mirbagheri SA, Karimian A. Assessing Dez Dam reservoir water quality by application of WQI and TSI indices. Iranian Journal of Health and Environment. 2014;9:133-42 (in Persian).
 17. Khalaji M, Ebrahimi E, Hashemenejad H, Motaghe E, Asadola S. Water quality assessment of the Zayandehroud Lake using WQI index. Iranian Scientific Fisheries Journal. 2017;13:51-64 (in Persian).
 18. Samarghandi MR, Weysi K, Abouei ME, Kaseb P, Danai E. Evaluation of Water Quality in Hamadan Akbatan Reservoir by NSFQI Index. Journal of North Khorasan University of Medical Sciences. 2013;6:63-69 (in Persian).
 19. Gholamalizadeh Ahangar A, Soltani J, Shakeri AR. Short technical report assessment of heavy metals concentrations and some water quality parameters of Chahnimeh I reservoir in Sistan and Baluchistan. Water and Soil Conservation Journal. 2014;8:1159-77 (in Persian).
 20. Aali. T, Rezaei. MR, Siamardi. SJ. Qualitative zoning of water reservoir Chahnimeh in year 1392 based on water quality indices. The 1st National Conference on Environment, Energy and Biodefense; 2012; Tehran (in Persian).
 21. Sistan and Baluchestan Meteorological Administration. Meteorological data and hydrological statistics of Sistan and Baluchestan Province. Zahedan: Sistan and Baluchestan Meteorological Administration; 2017 [cited 2019 Jan 14]. Available from: <http://www.sbmet.ir/spSBMet/default.aspx?page=Document&app=Documents&docId=1171>.
 22. lakzaeianpor G, Tabatabaei SM, Khandan Barani MA, Nakhaei R. Quantitative and qualitative assessment of water reservoirs Chah-Nimeh. Water Engineering conference and Exhibition; 2015; Tehran (in Persian).
 23. Hounslow A. Water Quality Data: Analysis and Interpretation. Boca Raton: CRC Press; 1995.
 24. Rezaei M, Nikbakht M, Shakeri A. Geochemistry and sources of fluoride and nitrate contamination of groundwater in Lar area, south Iran. Environmental Science and Pollution Research. 2017;24(18):15471-87.
 25. Al-Hadithi M. Application of water quality index to assess suitability of groundwater quality for drinking purposes in Ratmao-Pathri Rao watershed, Haridwar District, India. The American Journal of Scientific and Industrial Research. 2012;3(6):395-402.
 26. WHO. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2011.
 27. Logeshkumaran A, Magesh N, Godson PS, Chandrasekar N. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. Applied Water Science. 2015;5(4):335-43.



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

Original Article



Application of water quality index (WQI) and hydro-geochemistry for surface water quality assessment, Chahnimeh reservoirs in the Sistan and Baluchestan Province

H Hosseini¹, A Shakeri^{1*}, M Rezaei², M Dashti Barmaki¹, M Shahraki³

1- Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

2- Department of Earth Sciences, Faculty of Basic Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

3- Applied Research Group of Sistan and Baluchestan Regional Water Company, Zahedan, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 27 October 2018

Revised: 15 January 2019

Accepted: 21 January 2019

Published: 12 March 2019

Keywords: Chahnimeh, Physicochemical parameters, Statistical analyses, Water quality index

*Corresponding Author:

Shakeri1353@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: Chahnimeh water reservoirs in Sistan and Baluchestan Province are the most important sources for drinking water and irrigation purposes. Many factors such as precipitation, the geography of the watershed, atmosphere, geology and Human activities affect on the chemical, physical, and biological compositions of Chahnimeh water reservoirs. Therefore, the main goal of the present study was to monitor and assess water quality in four Chahnimeh reservoirs during two sampling periods.

Materials and Methods: 84 water samples were taken based on the standard methods (in September 2017 and April 2018) for measurement of the most important physicochemical parameters including major anions, total coliform, BOD, EC, TDS, pH and nitrate. Water quality index (WQI) was used to evaluate the overall water quality status in the Chahnimeh reservoirs.

Results: The results of hydro-geochemical analysis indicated that the water type changed from sodic bicarbonate and sulfur dioxide to radicle chloride during sampling periods. The Gibbs chart showed that weathering of rocks mainly controlled the chemistry of the main water ions. The results of statistical analyses revealed that there was a high correlation between parameters such as chlorophyll, nitrate, sulfate and chlorine with water quality index. Water quality zoning results based on the WQI index indicated a decrease in the water quality of the wells by 3, 2, 1, and 4, respectively.

Conclusion: In this study, the use of WQI was helpful for fast data interpretation for drinking water purposes in the area. Based on the WQI classification, majority of the samples are falling under good to poor water category.

Please cite this article as: Hosseini H, Shakeri A, Rezaei M, Dashti Barmaki M, Shahraki M. Application of water quality index (WQI) and hydro-geochemistry for surface water quality assessment, Chahnimeh reservoirs in the Sistan and Baluchestan Province. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2019;11(4):575-86.