

بررسی کیفیت منابع آب شرب شهرستان بوئین زهرا با استفاده از روش GWQI

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱/۲۹

چکیده

زهرا رحمانی^۱، میترا غلامی^۲، آرش خوشنویس زاده^۲ و روشمنک رضایی کلانتری^۲

^۱ کارشناس ارشد بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
^۲ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
^۳ دانشجوی MPH، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

مقدمه: آب زیرزمینی برای کشاورزی و مصارف شهری و صنعتی با حفر چاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه نیاز به آب سالم به واسطه رشد روز افزون جمعیت و نیز شتاب روز افزون صنعتی شدن، رو به افزایش است. طبق اعلام سازمان جهانی بهداشت، تقریباً ۸۰٪ از بیماری‌های انسانی ناشی از آب می‌باشد. آب زیرزمینی می‌تواند به عنوان آب ایمن برای بسیاری از جوامع مطرح شود. به همین دلیل، ممکن است از راه‌های مختلفی آلوده شود. بنابراین منابع آبی، مشکوک به آلودگی بوده و پایش منظم آب‌های زیرزمینی و حفاظت از آن ضروری می‌باشد.

هدف از انجام این پژوهش بررسی کیفیت منابع آب شرب شهرستان بوئین زهرا با استفاده از روش GWQI (شاخص کیفی آب‌های زیرزمینی) بود.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر با هدف پایش منابع آب آشامیدنی شهرستان بوئین زهرا بر پایه تجزیه و تحلیل چند متغیره برای تعیین شاخص کیفی آب زیرزمینی (GWQI) با استفاده از ۹ پارامتر (pH، TDS (کل جامدات محلول)، سختی کل، فلوئور، کلر، سولفات، نترات، سدیم و قلیائیت کل) انجام گرفت. نمونه برداری از ۷ شهر شهرستان بوئین زهرا (ارداق، آوج، بوئین زهرا، شال، آبگرم، دانسفهان و سگزآباد) از ۷ چاه مهم انتخابی از هر شهر که بیشترین آلودگی را داشتند، به مدت ۴ ماه، به صورت فصلی انجام گردید. این مطالعه بین اردیبهشت تا مرداد در ۲ فصل بهار و تابستان انجام گرفت.

یافته‌ها: نسبت غلظت مشاهده شده به حداکثر غلظت مجاز به عنوان ارزش نرمال هر پارامتر در چاه‌های انتخابی محاسبه شد. شاخص‌های نهایی برای هر چاه با توجه به وزن هر پارامتر محاسبه گردید.

پارامترهای مورد نظر در شاخص، بر روی هر نمونه با ۲ بار تکرار اندازه‌گیری شدند. میزان فلوئور در اکثر چاه‌های مورد مطالعه پایین‌تر از حد مجاز و مقادیر پارامترهایی از قبیل کدورت، سختی کل و منیزیم نیز بالاتر از حد مطلوب برای مصارف آشامیدن بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به رتبه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی بر حسب مقدار عددی شاخص GWQI، درجه کیفی آب چاه‌های ارداق، بوئین زهرا، شال، دانسفهان و سگزآباد خوب بوده (مقدار عددی بین ۲۵-۵۰) و حتی آب چاه‌های مورد مطالعه در شهرهای آوج و آبگرم در وضعیت خیلی خوبی (مقدار عددی بین ۲۵-۰) قرار داشتند.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، کیفیت آب، بوئین زهرا، فلوئور، نترات، باسیل‌های کلیفرم، فسفات

* نویسنده مسئول: دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
۰۲۱-۸۸۷۷۹۱۱۸
E-mail: gholamim@tums.ac.ir

مقدمه

در کشور ما نیاز به آب روز به روز افزایش می‌یابد، این موضوع نه تنها به خاطر افزایش جمعیت، بلکه برای سایر مصارف بهداشتی، صنایع و کشاورزی نیز می‌باشد.^۱ هدف اصلی بررسی‌های کیفی آب آشامیدنی حفظ بهداشت عمومی و سلامت مصرف‌کنندگان است. براساس اهداف فوق باید ضمن فراهم نمودن آب کافی و در دسترس قرار دادن آن، نسبت به انطباق ویژگی‌های فیزیکی،

شیمیایی، بیولوژیکی و رادیولوژیکی با استانداردهای تدوین شده اقدام گردد.^۲

منابع آلوده‌کننده آب به هرگونه منبعی که فعالیت یا بهره‌برداری از آن موجب آلودگی آب گردد گفته می‌شود که این عوامل شامل منابع صنعتی یا کشاورزی، دامداری، شهری، خانگی، خدماتی، درمانی و متفرقه می‌باشند.^۳ آب به طرق مختلف بیولوژیکی و شیمیایی باعث انتقال و انتشار بیماری‌ها می‌شود که از آن جمله

در تحقیقی که توسط S.A. Mirbagheri و Z. Jamshidzadeh در ایران و در منطقه کاشان صورت پذیرفته، نشان داده شده است که کیفیت آب زیرزمینی در اکثر نقاط این حوضه، برای آشامیدن نامطلوب و حتی در برخی نقاط برای سلامتی انسان مضر می‌باشد. مطابق با نسبت کلر بیکربنات، در حدود ۸۰٪ از نمونه‌ها با نفوذ آب شور آلوده شده بودند.^۷

تحقیقی که توسط Akbar Baghvand در منطقه کاشان در کشور ایران صورت گرفته است بیان می‌دارد که پمپاژ غیرمجاز آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در منطقه، در طی سال‌های اخیر، باعث کاهش کیفیت آب در اثر نفوذ آب شور از مناطق شرقی (کویر مرکزی و دریاچه نمکی) و در آینده نزدیک‌تر، از سفره‌های عمیق‌تر می‌شود.^{۱۹}

تحقیقی که توسط D. dudley williams و همکارانش صورت گرفته است بیان می‌دارد که آلودگی آب زیرزمینی با کلراید در منطقه Toronto به واسطه استفاده از نمک در فرآیند یخ زدایی، شدیداً به شهرسازی وابسته بوده و در برخی جاها از ۲۱ تا ۳۴٪، در خلال سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۹۷ افزایش داشته است.^۸

مطالعات انجام گرفته در کشور پرتغال توسط T.Y. Stigter و همکارانش بیان می‌دارد که GWQI، اثرات کشاورزی بر روی کیفیت آب زیرزمینی را نیز پایش نموده و آنرا با استانداردهای آب آشامیدنی و در نتیجه ارزیابی مستقیم قابلیت شرب آن می‌سنجد.^۹

در مطالعه دیگری در هند که توسط RAJDEEP KAUR و R.V. SINGH صورت پذیرفته است، آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی که از موقعیت‌های مختلف Bikaner و Kolayat گرفته شده بود، نشان داد که در برخی از نمونه‌ها، پارامترهای کیفی آب (قلیائیت کل، pH، سختی، TDS، سولفات، کلراید، نترات، کلسیم، منیزیم و آهن) بیش از حد مجاز استاندارد WHO بودند.^{۱۰}

در مطالعه‌ای که توسط Ranjana Agrawal در شهر Dudu در ایالت راجستان هند بر روی نمونه‌های آب زیرزمینی انجام گرفت نشان می‌داد که میزان pH اندازه‌گیری شده در حد مجاز آن قرار داشت. در ۱۳ نمونه میزان EC بیش از حد مجاز بود. گفته می‌شود که این آب را نمی‌توان به هدف آشامیدن به کار برد.^{۱۱} هدف از انجام این پژوهش بررسی کیفیت منابع آب شرب شهرستان بوبین زهرا با استفاده از روش GWQI (شاخص کیفی

می‌توان به روش‌های مستقیم، غیر مستقیم، نقش همزمان مستقیم و غیرمستقیم و فراهم کردن شرایط انتقال بیماری از طریق آب در انتقال بیولوژیکی اشاره نمود. اختلالات ناشی از ناخالصی‌های شیمیایی آب نیز به دلیل حضور غلظت‌های بیش از استاندارد عوامل شیمیایی از قبیل املاح، فلزات سنگین، رادیونوکلئیدها می‌باشد.^۵

روش GWQI (Ground Water Quality Index) یک روش بسیار مفید و مؤثر برای ارزیابی کیفیت آب است. این روش ابزار مفیدی برای آنالیز کیفی آب زیرزمینی است. در روشی که توسط Chander Kumar Singh و همکارانش برای بدست آوردن شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی ارائه شده است، فرمول زیر برای محاسبه GWQI بکار می‌رود:^۶

$$GWQI = \text{Anti log} \left[\sum w \log_{10} q_n \right]$$

W: ضریب وزنی که مطابق با جداول بدست می‌آید.

q: رتبه کیفی که از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$q_n = \left[\frac{(V_{\text{actual}} - V_{\text{ideal}})}{(V_{\text{standard}} - V_{\text{ideal}})} \times 100 \right]$$

V_{actual} : آن میزان پارامتر کیفی آب که با آنالیز آزمایشگاهی

بدست می‌آید.

V_{ideal} : آن مقدار پارامتر کیفی آب که می‌توان از جداول

استاندارد بدست آورد. این مقدار برای pH برابر با ۷ و برای سایر پارامترهای کیفی آب صفر است.

V_{standard} : استاندارد سازمان جهانی بهداشت برای پارامترهای

کیفی آب.

در این پژوهش پارامترهای دخیل در محاسبه این شاخص عبارت بود از:

TDS، pH، سختی کل، فلوتور، کلر، سولفات، نترات، سدیم، و قلیائیت کل. طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی بر مبنای GWQI در جدول ۱ آورده شده است.^۶

جدول ۱. طبقه بندی آبهای زیرزمینی بر مبنای GWQI

کیفیت آب زیرزمینی	GWQI
خیلی خوب	۰-۲۵
خوب	۲۵-۵۰
متوسط	۵۰-۷۵
ضعیف	۷۵-۱۰۰
خیلی ضعیف	۱۰۰-۱۲۵
نامناسب	۱۲۵ و بیشتر

آب‌های زیرزمینی) بود.

پارامترهای مورد نظر در شاخص (pH, TDS, سختی کل، فلوئور، کلر، سولفات، نترات، سدیم و کلیاتیت کل)، بر روی هر نمونه با ۲ بار تکرار اندازه‌گیری شدند.

مواد و روش‌ها

شهرستان بوئین زهرا یکی از شهرستان‌های استان قزوین است. از نظر جغرافیایی در ۵۰ درجه و ۴ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه پهنای شمالی و در ارتفاع ۱۲۱۰ متری از سطح دریا قرار دارد. آب و هوای این منطقه معتدل مایل به گرم و خشک است. مرکز این شهرستان، شهر بوئین زهرا است و دارای شش بخش مرکزی، آبگرم، آوج، دشتابی، رامند و شال و نیز چهارده دهستان و ۳۲۰ آبادی دارای سکنه است. مصرف آب در مناطق مورد مطالعه از طریق برداشت آب از چاه‌های مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد. سطح آب‌های زیرزمینی به طور متوسط در عمق ۱۵۰ متری بوده و تامین آب چاه مناطق مذکور از بستر رودخانه‌هایی مانند رودخانه شال و اسفرورین می‌باشد که در اواخر زمستان و اوایل بهار این رودها متناسب با تغییرات میزان بارندگی از کوه‌های ابهر و زنجان سرچشمه می‌گیرند.

به صورت برنامه‌ریزی شده از ۷ شهر شهرستان و از ۷ چاه شاخص هر شهر که بیشترین آلودگی را داشتند نمونه‌برداری شد. روش نمونه‌برداری به صورت مقطعی با زمان‌بندی بوده و به صورت مستقیم از سر چاه (شیر خروجی) انجام شد. نمونه‌برداری به مدت ۴ ماه و در ۲ فصل بهار و تابستان انجام گرفت.

نمونه‌گیری به شیوه طبقه‌ای و از بین طبقات به صورت تصادفی ساده انجام گرفت. با پذیرفتن حداقل خطای ۰/۶ در تغییرات میانگین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده ($\beta=1/10$) و حداکثر توان مطالعه ۹۰٪، فاصله اطمینان ۹۵٪ و نیز $1-\alpha/2=1/36$ ، با فرمول زیر حجم نمونه به دست آمد:

$$n = \frac{(1-\alpha/2)^2 \times pq}{d^2} = \frac{(1/36)^2 \times (0/6) \times (0/4)}{(0/1)^2} = 44$$

$$q = p = (1-0/6) 0/4$$

$$P=0/6 \text{ وابسته}$$

* تعداد کل نمونه‌هایی که در مدت ۴ ماه برداشته شد برابر با ۴۴ و ماهانه ۱۱ نمونه بود.

جهت تعیین شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی (GWQI)،

نمونه‌برداری از طریق شیر برداشت خروجی از چاه صورت گرفت. قبل از نمونه‌برداری، محل خروجی از آب را بوسیله چراغ الکلی و یا شعله گاز حرارت داده و سپس شیر را به مدت ۱ الی ۲ دقیقه باز نموده تا آب خروجی از آن بدون ذرات شن و سنگریزه باشد. جهت انجام آزمایش‌های BOD و فسفات، نمونه‌ها سریعاً به آزمایشگاه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران منتقل و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سایر آزمایشات شیمیایی، در آزمایشگاه آب معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی قزوین انجام گردید. جهت انجام آزمون‌های میکروبی نیز، نمونه‌ها در مدت زمان کمتر از ۱۸ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، به آزمایشگاه آب شبکه بهداشت و درمان بوئین زهرا منتقل شد. انجام آزمایشات میکروبی و شیمیایی، مطابق با روش‌های ذکر شده در کتاب روش‌های استاندارد اندازه‌گیری صورت پذیرفت.^{۱۲} در جدول ۲ روش‌های استاندارد اندازه‌گیری پارامترهای مختلف آورده شده است.

یافته‌ها

پس از نمونه‌برداری و انجام آزمایش بر روی نمونه‌های آب، مقادیر پارامترهای مختلف مطابق با جداول ۳-۶ بدست آمد.

همانطور که از جدول ۳ قابل مشاهده است، بیشترین مقدار کلسیم اندازه‌گیری شده در منطقه سگزآباد معادل ۱۱۳/۵ mg/L و کمترین میزان مربوط به منطقه شال (۶۲/۵ mg/L) بوده است. همچنین قابل مشاهده می‌باشد که در ۴ منطقه از ۷ منطقه مورد مطالعه، میزان منیزیم بیش از حد مطلوب برای اهداف آشامیدنی بوده، بیشترین میزان سدیم اندازه‌گیری شده در منطقه سگزآباد معادل ۲۴۵ mg/L و کمترین میزان مربوط به منطقه آوج (۳۳/۵ mg/L) و بالاترین مقدار پتاسیم مربوط به منطقه شال (۶/۰۵ mg/L) و کمترین میزان در منطقه آوج (۰/۳۲۵ mg/L) گزارش شده است.

جدول ۲. روش‌های استاندارد اندازه‌گیری پارامترها^{۱۲}

پارامتر مورد نظر	نحوه اندازه‌گیری	واحد اندازه‌گیری
pH	با استفاده از دستگاه pH متر	-
TDS	روش 2540 G	mg/L
فلوئور	روش الکتروود یون انتخابی 4500-F ⁻ C	mg/L
کلر	روش آرژانتومتری 4500-Cl ⁻ B	mg/L
سدیم	روش فتومتری با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مدل PFP7 ساخت کمپانی JENWAY انگلستان 3500-Na	mg/L
سولفات	روش توربیدیمتری 4500-So ²⁻ ₄ E	mg/L
نیترات	روش اسپکتروفتومتری (CECIL EC 7400, England) 4500- NO ³⁻	mg/L
سختی کل	روش تیتراسیون با EDTA 2340- C	mg/L CaCO ₃
قلیائیت کل	روش تیتریمتری 2320- B	mg/L CaCO ₃

جدول ۳. مقایسه میانگین مقادیر کاتیون‌های اندازه‌گیری شده در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، و شهریور

پارامتر	واحد	حد مطلوب	نتیجه آزمایش						
			شال	بویین زهرا	ارداق	سگزآباد	دانسفهان	آبگرم	آوج
کلسیم	mg/L	۳۰۰	۶۲/۵	۷۲/۳۳	۷۳/۵	۱۱۳/۵	۶۴	۷۱/۵	۸۴/۵
منیزیم	mg/L	۳۰	۴۱/۵	۳۱/۶۶	۴۱	۳۶/۵	۲۲/۵	۲۶/۵	۳۰
سدیم	mg/L	۲۰۰	۲۳۵	۱۹۳/۳۳	۱۳۴	۲۴۵	۱۰۲	۱۷۴	۳۳/۵
پتاسیم	mg/L	تا ۱۰	۶/۰۵	۴/۱	۲/۳	۴/۹۵	۱/۶	۳/۸	۰/۳۲۵

جدول ۴. مقایسه میانگین مقادیر آنیون‌های اندازه‌گیری شده در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، و شهریور

پارامتر	واحد	حد مطلوب	نتیجه آزمایش						
			شال	بویین زهرا	ارداق	سگزآباد	دانسفهان	آبگرم	آوج
فلوئور	mg/L	۱/۵-۰/۵	۰/۶۴	۰/۶۸	۰/۴۷	۰/۶	۰/۴	۰/۳۵	۰/۲۵
سولفات	mg/L	۲۵۰	۱۸۱	۳۱۱/۶۶	۲۲۸/۵	۳۶۰	۱۷۹/۵	۱۰۸	۲۲/۵
بیکربنات	mg/L	۵۰۰	۲۵۵/۵	۲۳۶	۲۸۳	۲۱۰	۲۴۶	۲۵۹	۳۷۱
نیتريت	mg/L	۰/۱	< ۰/۱	< ۰/۱	< ۰/۱	< ۰/۱	< ۰/۱	< ۰/۱	< ۰/۱
نیترات	mg/L	۴۵	۲/۷۸	۲/۴	۳/۰۳	۵/۶۵	۵/۱۱	۱/۷	۱/۰۸

محدوده‌های تقریباً یکسانی قرار دارد. میزان سختی کل نیز در تمام ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده بیش از حد مطلوب توصیه شده برای مصارف آشامیدنی است. میزان کلیاتیت کل بجز در منطقه آوج که معادل ۳۰۹ mg/L گزارش شده است، در تمامی ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در حد مطلوب برای مصارف آشامیدنی می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که برخلاف پارامتر پتاسیم، میزان فسفات اندازه‌گیری شده در ایستگاه آوج (۰/۳۶ mg/L) بالاترین مقدار می‌باشد. میزان کل مواد جامد محلول در منطقه سگز آباد معادل ۱۰۵۳ mg/L بوده که بیشترین مقدار و بالاتر از حد مطلوب آن برای مصارف آشامیدنی است.

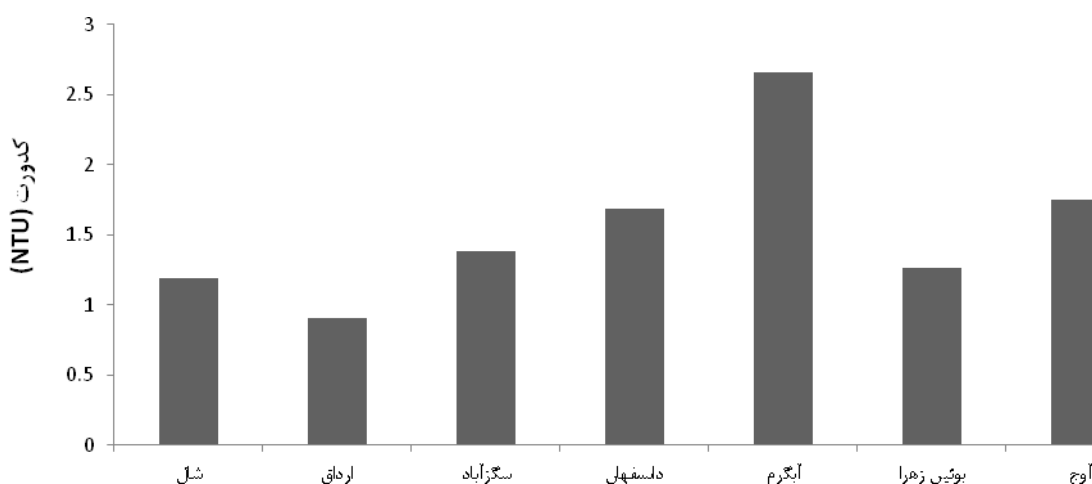
با توجه به نمودار ۱ بیشترین میزان کدورت (۲/۶۵ NTU) در چاه آبگرم مشاهده می‌شود.

با توجه به جدول ۴ قابل مشاهده است که کمترین میزان فلئوئر برابر ۰/۲۵ mg/L در ایستگاه آوج به‌دست آمده، بیشترین میزان سولفات اندازه‌گیری شده در منطقه سگزآباد بوده که معادل ۳۶۰ mg/L گزارش شده است و کمترین میزان آن در ایستگاه آوج (۲۲/۵ mg/L) گزارش شده است. بر خلاف بیشتر پارامترها میزان بیکربنات منطقه آوج بیشترین میزان را در بین ایستگاه‌های دیگر دارد که برابر با ۳۷۱ mg/L و در رابطه با نیترات در ایستگاه‌های سگزآباد (۵/۶۵) و سپس دانسفهان (۵/۱۱ mg/L) بیشترین میزان آن اندازه‌گیری شده است.

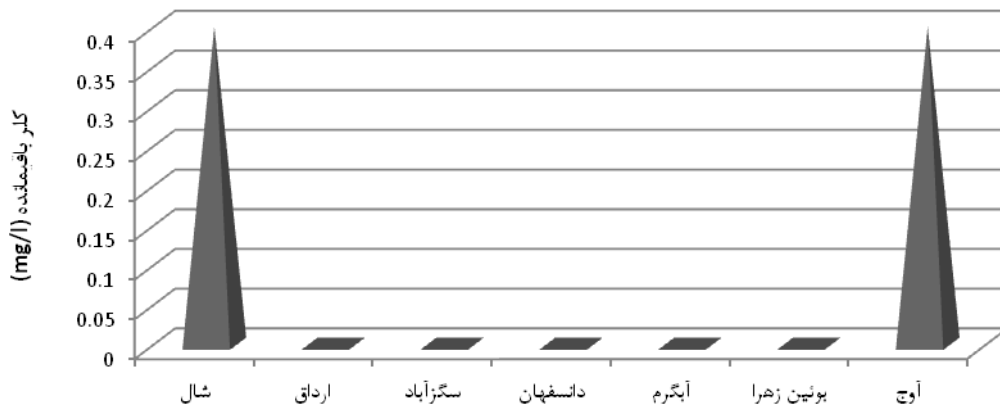
بیشترین میزان سختی دایم در ایستگاه سگزآباد مشاهده می‌شود (۲۲/۵ mg/L) که بالاتر از استاندارد مجاز برای آب آشامیدنی است. بجز ایستگاه آوج، میزان سختی موقت در بقیه مناطق مورد مطالعه در

جدول ۵. مقایسه میانگین مقادیر پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری شده در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور

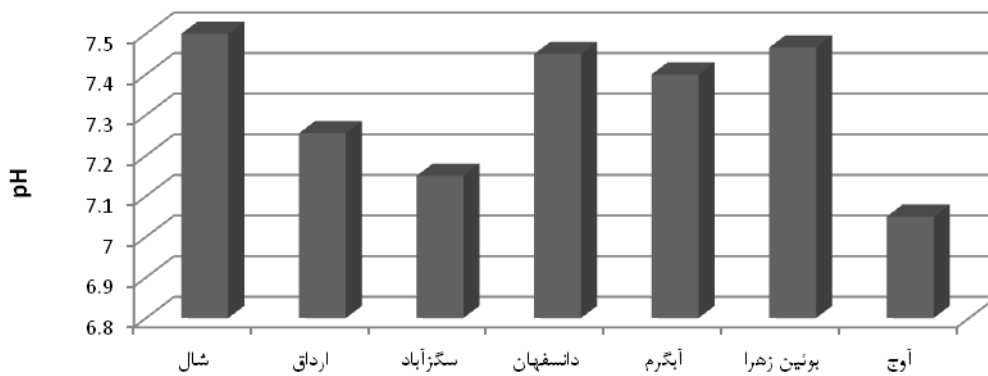
پارامتر	واحد mg/L	حد مطلوب	نتیجه آزمایش						
			شال	بوئین زهرا	ارداق	سگزآباد	دانسفهان	آبگرم	آوج
سختی دائم	CaCO ₃	-	۱۷۸	۱۶۲/۶۶	۱۶۸	۲۷۲	۱۱۱/۵	۱۲۰	۱۰۹/۵
سختی موقت	CaCO ₃	-	۱۴۵	۱۴۹/۳۳	۱۸۵	۱۶۲	۱۴۰/۵	۱۶۷	۲۲۴/۵
سختی کل	CaCO ₃	۲۰۰	۳۲۳	۳۱۲	۳۵۳	۴۳۴	۲۵۲	۲۸۷	۳۳۴
کلیاتیت کل	CaCO ₃	۵۰۰	۲۱۳	۱۹۶/۶۶	۲۳۶	۱۷۵	۲۰۵	۲۱۶	۳۰۹
فسفات	PO ₄	۵	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۰۸	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۳۶
TDS		۱۰۰۰	۹۳۵/۵	۸۴۱/۶۶	۶۹۵	۱۰۵۳	۵۴۲	۷۳۰/۵	۳۸۷/۵



نمودار ۱. مقایسه میزان کدورت چاه‌های نمونه برداری شده در ۷ شهر مختلف شهرستان بوئین زهرا



نمودار ۲. مقایسه میزان کلر باقیمانده در چاه های نمونه برداری شده در ۷ شهر مختلف شهرستان بوئین زهرا



نمودار ۳. مقایسه میزان pH چاه های نمونه برداری شده در ۷ شهر مختلف شهرستان بوئین زهرا

در منطقه شال (۷/۵) به دست آمده با کمترین میزان آن که در منطقه آوج (۷/۰۵) به دست آمده است، از نظر عددی تفاوت چندانی را نشان نمی دهد.

نمودار ۲ نشان دهنده این است که میزان کلر باقیمانده در ۵ منطقه برابر با صفر بوده و در منطقه آوج و شال حدود ۰/۴ mg/L است. با توجه به نمودار ۳ مشاهده می شود که بیشترین میزان pH که

جدول ۶. میانگین مقادیر اندازه گیری شده شاخص کیفیت آب های زیرزمینی در ماه های خرداد، تیر، مرداد، و شهریور

پارامتر	چاه مورد نظر	مقدار عددی پارامتر	وضعیت مطلوبیت چاه
GWQI	بوئین زهرا	۴۲/۱۵	خوب
GWQI	شال	۴۱/۱۷۵	خوب
GWQI	آوج	۱۲/۸۷۵	خیلی خوب
GWQI	سگزآباد	۳۲/۴۲۵	خوب
GWQI	دانسفهان	۲۷/۸۷	خوب
GWQI	ارداق	۲۹/۱۲	خوب
GWQI	آبگرم	۲۴/۲۳	خیلی خوب

صنعتی ذکر شده است.^{۱۳}

با توجه به جدول ۴ میزان فلئوئور اندازه گیری شده در چاه بوئین زهرا بالاترین مقدار (۰/۶۸ mg/L) بوده و شهر آوج (mg/L) ۰/۲۵) پایین ترین میزان فلئوئور را در بین چاه های مطالعه شده داشته و چاه هایی که میزان فلئوئور آنها کمتر از حد مطلوب بوده شامل ارداق، دانسفهان، آبگرم و آوج بوده اند. در این جدول مشاهده می شود که میزان سولفات اندازه گیری شده در چاه سگزآباد بالاترین میزان (۳۶۰ mg/L) و در چاه آوج همانند پارامتر فلئوئور (۲۲/۵ mg/L) نیز پایین بود که این مقادیر در چاه های بوئین زهرا و سگزآباد از حد مطلوب توصیه شده برای مصارف آشامیدن تجاوز می نمود. در مطالعه ای که در شهر کاشان صورت گرفته است، نتایج مقدراری متفاوت بوده و میانگین فلئوئور در چاه ها ۰/۷ میلی گرم در لیتر بود و ۵۰/۶٪ منابع آب، در حد استاندارد بود،^{۱۴} همچنین یافته های حاصل از مطالعات انجام شده در شهرهای همدان و بهار^{۱۵} و ارومیه (آب های زیر زمینی)^{۱۶} با مطالعه حاضر همخوانی دارد، البته در بعضی مناطق مانند بندرعباس میزان فلئوئور بیشتر از حد استاندارد، گزارش شده است.^{۱۷}

بالاترین مقدار بیکربناتی که در میان چاه های مورد مطالعه، اندازه گیری شده مربوط به چاه آوج با رقم ۳۷۱ mg/L و پایین ترین مقدار مربوط به چاه سگزآباد (۲۱۰ mg/L) بود. مطالعه دیگری در کشور هند نشان می دهد که انحلال گازها و مواد معدنی، به خصوص CO₂ و CO₃، که ترکیبات مرتبط با اتمسفر و منطقه غیر اشباع طی فرایند ترکیب و نفوذ می باشند باعث رسیدن یون بیکربنات به آبهای زیر زمینی می شوند.^{۱۸}

با توجه به اینکه حد استاندارد نیتريت در آب های آشامیدنی کمتر از ۰/۱ میلی گرم بر لیتر است، بنابراین میزان نیتريت اندازه گیری شده در تمامی چاه های مورد مطالعه در محدوده استاندارد قرار داشته است. بالاترین میزان نیتريت اندازه گیری شده در چاه سگزآباد (۵/۶۵ mg/L) و کمترین میزان آن (۱/۰۸ mg/L) در چاه آوج بوده است. از آنجا که چاه های مورد مطالعه از نظر موقعیت جغرافیایی در مناطق مختلفی قرار دارند که بافت زمین شناسی خاک و عمق چاه ها نیز با همدیگر متفاوت است، لذا غلظت نیتريت در آب این چاه ها نیز دارای غلظت های متفاوتی است

با توجه به جدول ۶ مشاهده می شود که شاخص کیفیت آب های زیرزمینی در منطقه آوج کمترین میزان بوده و از اینرو کیفیت آب بالاتری نسبت به سایر مناطق مورد مطالعه دارد. قابل ذکر است که نتیجه آزمایش BOD بر روی تمام نمونه های گرفته شده از چاه های مورد نظر در طی ماههای خرداد، تیر، مرداد و شهریور صفر بود.

بحث

با توجه به جدول ۳ بیشترین میزان کلسیم مربوط به شهر سگزآباد معادل ۱۳/۵ mg/L و کمترین میزان مربوط به منطقه شال (۶۲/۵ mg/L) می باشد. البته در هیچ کدام از چاه های مورد مطالعه، میزان کلسیم از حد مطلوب آن برای مصارف آشامیدن تجاوز نکرده است، بنابراین هیچ مشکلی از نظر بالا بودن کلسیم در آب چاه ها وجود ندارد.

میزان منیزیم اندازه گیری شده در چاه شهر شال بالاترین مقدار (۴۱/۵ mg/L) و در شهر دانسفهان ۲۲/۵ mg/L کمترین میزان را داراست. همچنین میزان منیزیم در چاه های شال، بوئین زهرا، ارداق و سگزآباد از حد مطلوب توصیه شده تجاوز نموده اند، که این امر احتمالاً ناشی از تشکیلات ژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه می باشد.

در مورد سدیم مشاهده می شود که بالاترین میزان در ایستگاه سگزآباد (۲۴۵ mg/L) و پایین ترین میزان سدیم در چاه آوج (۳۳/۵ mg/L) اندازه گیری شده است. همچنین این میزان در چاه های شال و سگزآباد بیش از حد مطلوب توصیه شده برای مصارف آشامیدنی است. تحقیق دیگری که توسط Chandar kumar و همکارانش در منطقه Rupnagar هندوستان صورت گرفته است نشان می دهد که غلظت بالای سدیم و شوری در خاک ممکن است به استفاده نادرست از کودها و آلودگی چاه های حفر شده نسبت داده شود.^۶

بیشترین مقدار پتاسیم در چاه مورد مطالعه در شهر شال (۶/۰۵) و کمترین میزان آن در چاه مورد مطالعه شهر آوج (۰/۳۲۵ mg/L) اندازه گیری شده است. در تحقیق دیگری در کشور هند، علت افزایش سدیم و پتاسیم در آب زیرزمینی، فعالیت های کشاورزی و

همچنین کمترین مقدار TDS اندازه‌گیری شده نیز در چاه آوج معادل $387/5 \text{ mg/L}$ بوده است.

به جز چاه ارداق، میزان کدورت در سایر چاه‌های مطالعه شده، بیش از حد مطلوب برای مصارف آشامیدنی است. نکته ای که در مورد پارامتر کلر باقیمانده باید بدان توجه نمود این است که علت اینکه مقدار این پارامتر در چاه‌های شال و آوج $0/4$ میلی گرم بر لیتر بوده این است که در این دو چاه، کلریناتور در داخل چاه و در دیگر چاه‌ها، کلریناتور بعد از شیر برداشت قرار داشته و با توجه به اینکه نمونه‌ها از شیر برداشت واقع در دهانه خروجی چاه گرفته شده است، در نتیجه میزان کلر باقیمانده در چاه‌های ارداق، بوئین زهرا، آبگرم، سگزآباد و دانسفهان برابر با صفر بوده است. آزمایشات صورت گرفته بر روی نمونه‌های آب زیرزمینی در چاه‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهد که نتایج مربوط به کلیفرم‌های مدفوعی برابر با صفر بوده و آب زیرزمینی این چاه‌ها از نظر میکروبی کاملاً پاک است. مقدار عددی شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی در چاه‌های آوج و آبگرم در وضعیت خیلی خوب و در سایر چاه‌ها در وضعیت خوبی قرار دارد که این امر به دلیل مطلوب بودن مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای GWQI (PH، TDS، فلوتور، سختی کل، قلیابیت کل، کلر، سولفات، نیترات و سدیم) است. مطالعه مشابهی که توسط Chander kumar singh و همکارانش صورت گرفته است، نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی منطقه Rupnagar به شدت تحت تأثیر اثرات جوی و نشت فلدسپات‌ها و کلسیت منیزیم است، در این مطالعه محیط‌هایی که دارای مشکل کیفیت آب بودند بر مبنای شاخص GWQI شناسایی شدند. کیفیت آب مشخص نمود که غلظت پارامترهایی از قبیل نیترات، منگنز و کروم در مناطق جنوبی و شمال غرب منطقه تحت مطالعه بیش از حد مجاز WHO بود که غالباً با رسوب پوشیده شده بودند.^۶ کیفیت آب چاه‌های مورد مطالعه در ۲ شهر آبگرم و آوج وضعیت مشابهی داشتند، بطوری‌که مقادیر پارامترهای کدورت و سختی کل آنها بالاتر از حد مطلوب و میزان فلوتور اندازه‌گیری شده در این چاه‌ها نیز، پایین‌تر از حد مطلوب برای مصارف آشامیدنی بود. با این حال مقادیر عددی شاخص GWQI نشان می‌داد که کیفیت آب در این دو چاه خیلی خوب بود. با توجه به مطالب فوق نتیجه می‌گیریم که کیفیت آب‌های

که نشان‌دهنده اثر بافت خاک و موقعیت جغرافیایی منطقه بر روی غلظت نیترات است. در جدول ۵ مشاهده می‌شود که میزان سختی دائم در چاه سگزآباد بیشترین (272 mg/L) و در چاه آوج کمترین مقدار ($102/5 \text{ mg/L}$) است. سختی دائم ناشی از ترکیباتی به جز بیکربنات‌ها در آب است (فسفات، سدیم و ...) و با توجه به اینکه غلظت اندازه‌گیری شده چنین ترکیباتی در آب چاه سگزآباد، بیش از چاه‌های دیگر است، بنابراین سختی دائم در این چاه نیز بالاترین میزان بوده است. همچنین سختی موقت نیز ناشی از وجود بیکربنات‌ها در آب است و با توجه به اینکه غلظت یون بیکربنات در چاه آوج نسبت به سایر چاه‌ها بیشتر است، بنابراین بالاترین میزان سختی موقت در میان چاه‌های مطالعه شده در چاه آوج ($224/5 \text{ mg/L}$) اندازه‌گیری شده است. حال آن‌که کمترین میزان سختی موقت مربوط به چاه دانسفهان ($140/5 \text{ mg/L}$) است.

سختی کل به مجموع سختی کلسیم و منیزیم اطلاق می‌شود. با توجه به اینکه میزان کلسیم در چاه سگزآباد بالاترین مقدار ($113/5 \text{ mg/L}$) و میزان منیزیم نیز در این چاه ($36/5 \text{ mg/L}$) پس از چاه شال، بیشترین میزان اندازه‌گیری شده می‌باشد، بنابراین بدیهی است که میزان سختی کل در این چاه نسبت به سایر چاه‌ها بیشتر باشد. در حالی‌که چاه دانسفهان با میزان 252 mg/L کمترین میزان سختی کل را داراست. همچنین لازم به ذکر است که سختی کل در تمام چاه‌ها از حد مجاز توصیه شده برای آب آشامیدنی بالاتر است. پارامتر قلیابیت ناشی از وجود کربنات‌ها، بیکربنات‌ها و هیدروکسیدها در آب است. پارامتر بیکربنات در چاه بالاترین میزان را در میان سایر چاه‌های مورد مطالعه به خود اختصاص داده و به همین دلیل است که قلیابیت کل موجود در آب این چاه با مقدار 309 mg/L نسبت به سایر چاه‌ها بیشتر است.

در مورد پارامتر فسفات، بیشترین و کمترین مقدار، به ترتیب در چاه‌های آوج معادل $0/36 \text{ mg/L}$ و سگزآباد معادل $0/08 \text{ mg/L}$ اندازه‌گیری شده است.

به دلیل بالا بودن املاح موجود در آب چاه سگزآباد که ناشی از وجود یون‌های مختلف در آن است، مقدار TDS اندازه‌گیری شده در این چاه (1053 mg/L) بیش از حد مطلوب توصیه شده (1000 میلی‌گرم بر لیتر) برای مصارف آشامیدنی است لذا این آب، گوارایی لازم را جهت جلب رضایت مصرف‌کنندگان نخواهد داشت.

آوج و آبگرم خیلی خوب (شاخص GWQI در آنها در محدوده ۲۵-۰) بود.

زیرزمینی در شهرهای شال، بوئین زهرا، دانسفهان، سگرآباد و ارداق خوب (شاخص GWQI در آنها در محدوده ۵۰-۲۵) و در شهرهای

References

- Maggie A, Elimelech M. Water and Sanitation in Developing Countries: Including Health in the Equation. *Environmental Science and Technology* 2007; 41(1): 17-24.
- Alley E. R. Water Quality Control . New York : MC Graw-Hill 2000.
- Khani M.H, Yaghmayian K. Water treatment. 1nd ed.Tehran,1379[In Persian].
- Malakotian M. Karami A. Evaluation of chemical quality changes of underground water sources in bam and broat plain in 1376-1383. *Journal of Hormozgan University of Medical Sciences*.2004;102-16. [In Persian].
- Helm seresht P, delpisheh E. Occupation health.1nd ed. 1997. [In Persian].
- Chander Kumar S, Satyanarayan Sh, Saumitra M, Rina Kumari, et al. Application of GWQI to Assess Effect of Land Use Change on Groundwater Quality in Lower Shiwaliks of Punjab: Remote Sensing and GIS Based Approach. *Water Resour Manage*. 2011; (25):1881-98.
- Jamshidzadeh Z, Mirbagheri S.A. Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran. *Desalination* 2011;270: 23-30. [In Persian].
- dudley williams D. Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact. *Wat. Res*. 1999;(34) , 127-38.
- Andrade A.I.A.S.S, Stigter T.Y. Multi-method assessment of nitrate and pesticide contamination in shallow alluvial groundwater as a function of hydrogeological setting and land use. *Agricultural Water Management* 2009; 96 :1751-65.
- Rajdeep kaur , singh r.v. Assessment for different groundwater quality parameters for irrigation purposes in bikaner city, rajasthan. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation* 2011; 6: 385-92.
- Ranjana A. Study of physico-chemical parameters of groundwater quality of dudu town in rajasthan. *Rasayan J.chem*. 2009;4: 969 -71.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington DC. 1998: 4-100.
- Guo H, Wang Y. Hydrogeochemical processes in shallow quaternary aquifers from the northern part of the Datong Basin, China. *J Appl Geo chem*. 2004; 19: 19-27.
- Almasi H, Mostafaie Gh.R, Iranshahi L. Fluoride concentration of drinking water of Kashan in (1999). *Feyz, Kashan University of Medical Sciences & Health Services*. 2002; 6(21): 37-43. [In Persian].
- Samarghandi M.R, Sadri Gh.H. The concentration of Fluoride in drinking water of Hamadan and Bahar cities in (1998-99). *Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences & Health Services* 2001; 8(21): 42-47. [In Persian].
- Nan Bakhsh H. Study of chemical and bacterial quality of potable ground water sources in Urmia in (2000). *Urmia Medical Journal* 2002; 13(1): 41-50. [In Persian].
- Dindar Loo K, Ali Pour V, Farshid Far GhR. Chemical quality of drinking water in Bandar Abbas. *Journal of Hormozgan University of Medical Sciences* 2006; 10(1): 57-62. [In Persian].
- Shanyengana M.K, Seely M.K, Sanderson R.D. Major ion chemistry and groundwater salinization in ephemeral floodplains in some arid regions of Namibia. *J Arid Environ*. 2004; 57:71-83.
- Baghvand A. Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert. *Desalination* 2010; 260 :264-275. [In Persian].