مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۶۱۵ تا ۶۲۸

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

بررسی کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده برای مصارف آشامیدنی شهرستان کاشان با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب

محمد رضوانی قالهری[۱]، بنیامین عجمی[۱]، اسفندیار قوردوئی میلان[۱]، معین خالویی[۲]، امیرحسین محوی[۱،۳*]

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- مرکز تحقیقات مواد زائد جامد، پژوهشکده محیط‌زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

واژگان کلیدی: آب آشامیدنی، آب زیرزمینی، شاخص کیفیت آب

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
ahmahvi@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: آب‌های زیرزمینی، اصلی‌ترین منبع آب جهت آشامیدن در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. میزان بارش، ساختار زمین‌شناسی، کانی‌شناسی آبخوان و مدت زمان تماس آب با محیط اطراف در زیرزمین اصلی‌ترین عوامل موثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی هستند. هدف این مطالعه تعیین خواص فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی با در نظر گرفتن WQI و همچنین ارزیابی کیفی آن برای مصارف آشامیدنی بود.

روش بررسی: در این مطالعه نمونه‌برداری از ۷۱ حلقه چاه مورد استفاده جهت شرب شهرستان کاشان در فصل تابستان سال ۱۳۹۹ با ۲ بار نمونه برداری از هر چاه انجام شد و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از روش‌های ریاضی شاخص کیفیت آب (WQI) مشخص شد و از ضریب همبستگی پیرسون جهت آنالیز همبستگی استفاده شد. در نهایت آنالیز داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم افزار Excel، SPSS-16 و آزمون‌های آماری صورت گرفت.

یافته‌ها: WQI محاسبه شده از ۷۱ چاه شهرستان کاشان نشان می‌دهد که ۶۷ درصد چاه‌ها دارای کیفیت عالی و ۳۳ درصد چاه‌ها از نظر پارامترهای کیفی آب کیفیت خوب داشتند. در مجموع از ۷۱ نمونه مورد بررسی شاخص عددی کیفیت آب ۴۴/۹۴ بود و آب دارای کیفیت عالی بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد یون‌هایی مانند سدیم، سولفات و کلرور به‌طور مستقیم با وجود شوره‌زار در یک منطقه مرتبط هستند و باعث بالا رفتن غلظت‌های EC و TDS و همچنین به هم خوردن تعادل آنیونی و کاتیونی در محیط‌های آبی می‌شود. همچنین مشخص شد که بیش از نیمی از چاه‌ها دارای کیفیت عالی هستند درنتیجه استفاده از آب چاه‌های کاشان برای آشامیدن مناسب است.

Please cite this article as: Rezvani Ghalhari M, Ajami B, Ghordouei Milan E, Khalooei M, Mahvi AH. Evaluation of groundwater quality for drinking purposes in Kashan using water quality indicators. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;14(4):615-28.

Copyright © 2022 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

مقدمه

در سالیان اخیر به دنبال رشد جمعیت و پیشرفت در صنعت، استفاده از منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع آب برای مصرف انسان و فعالیت‌های کشاورزی افزایش یافته است که نگهداری و حفاظت از منابع آب را به یک چالش اساسی برای بشر تبدیل کرده است (۱، ۲). علاوه بر این، خشکسالی‌های اخیر و استخراج غیرمجاز آب زیرزمینی، مخصوصا در مناطق گرم و خشک که در آن درجه حرارت بالا و نرخ بارش پایین است، باعث کاهش سطح آب زیرزمینی و همچنین نزول کیفیت آن شده است (۳). ایران در یک منطقه نیمه‌خشک با متوسط بارندگی سالانه کمتر از یک سوم مقدار جهانی واقع شده است که توزیع مکانی و زمانی بارش‌های منطقه‌ای نیز یکپارچه نیست، برآوردها حاکی از آن است که تا سال ۲۰۲۵ ایران به یکی از کشورهایی تبدیل خواهد شد که با بحران کمبود منابع آب مواجه خواهد شد که این امر ضرورت مدیریت منابع آب و در نظر گرفتن اقدامات کاهش مصرف آب را به خوبی نشان می‌دهد (۴). با این اوصاف، در بسیاری از مناطق کشور عدم وجود منابع آب مشاهده شده است. منابع آب زیرزمینی بیش از نیمی از نیاز سالیانه آب را در ایران فراهم می‌کند درحالی‌که شارژ این منابع کمتر از نیمی از میزان استخراج کل است (۵). تخمین زده می‌شود که ۵۰ درصد از آب آشامیدنی در جهان (۶) و حدود ۶۳ درصد آب آشامیدنی در ایران از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شوند (۷). افزایش فعالیت‌های کشاورزی و توسعه شهرنشینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران که با کمبود منابع آب سطحی مواجه هستند میزان تقاضای آب را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داده است که این منابع را در معرض خطر بالای آلودگی قرار داده است و به یکی از چالش‌های اصلی برای تأمین‌کنندگان آب آشامیدنی تبدیل کرده است (۸).

آب‌های زیرزمینی، اصلی‌ترین منبع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و اهمیت این منابع نباید دست کم گرفته شود چرا که علاوه بر تأمین آب مورد نیاز یک منطقه خاص برای اهداف آشامیدنی و آبیاری، توسط سایر مناطق اطراف نیز به کار گرفته می‌شود (۹). به همان اندازه که میزان حجم آب در دسترس اهمیت دارد، لازم است که کیفیت آن هم به‌صورت جدی مورد توجه قرار گیرد (۱۰، ۱۱). فعالیت‌های گسترده کشاورزی، ساختار زهکشی نامناسب و بافت خاک محل برداشت آب از دلایل اصلی کاهش کیفیت آب زیرزمینی هستند (۱۲). میزان بارش، کاربری اراضی، ساختار زمین‌شناسی، کانی‌شناسی آبخوان و مدت زمان تماس آب با محیط اطراف در زیرزمین اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی هستند (۱۳). خواص هیدروشیمیایی آب می‌تواند کیفیت آب را به جهت مصارف نوشیدنی و آبیاری مشخص کند (۱۴). روش‌های متعددی برای ارزیابی کیفیت آب مورد استفاده قرار گرفته است. در این زمینه، WQI یک سری از اطلاعات و داده‌های پیچیده و مبهم را به مفاهیمی ساده برای عموم و مدیران تصمیم‌گیرنده در حوزه آب تبدیل می‌کند. با این‌حال بعضی از شاخص‌ها کامل نیستند و نیازمند سایر پارامترهای کیفی آب برای ارائه یک شاخص WQI فراگیر است (۱۵-۱۷).

با توجه به این که عمده آب تامین شده مورد نیاز مصرف آشامیدنی شهرستان کاشان از طریق منابع زیرزمینی صورت می‌گیرد این مطالعه با هدف تعیین خواص فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی با در نظر گرفتن شاخص‌های کیفیت آب و همچنین ارزیابی کیفی آن برای مصارف آشامیدنی است چرا که با توجه به تغییرات سطح آب زیرزمینی در سالیان اخیر و وجود منابع احتمالی آلوده‌کننده آب زیرزمینی در منطقه بر کیفیت آب آشامیدنی تأثیرگذار بوده است، این مطالعه با هدف تعیین خواص فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی با در نظر گرفتن WQI و همچنین ارزیابی کیفی آن برای مصارف آشامیدنی انجام گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند بر پیاده‌سازی تصمیمات مبتنی بر تحقیقات علمی که از سوی سیاست‌گذاران حوزه سلامت آب اتخاذ می‌شود، کمک کند و اطلاعات مفیدی از ارزیابی کیفی آب را برای مصارف آشامیدنی را در اختیار تأمین‌کنندگان و مصرف‌کنندگان آب حاصل از چاه‌های زیرزمینی در شهرستان کاشان قرار دهد.

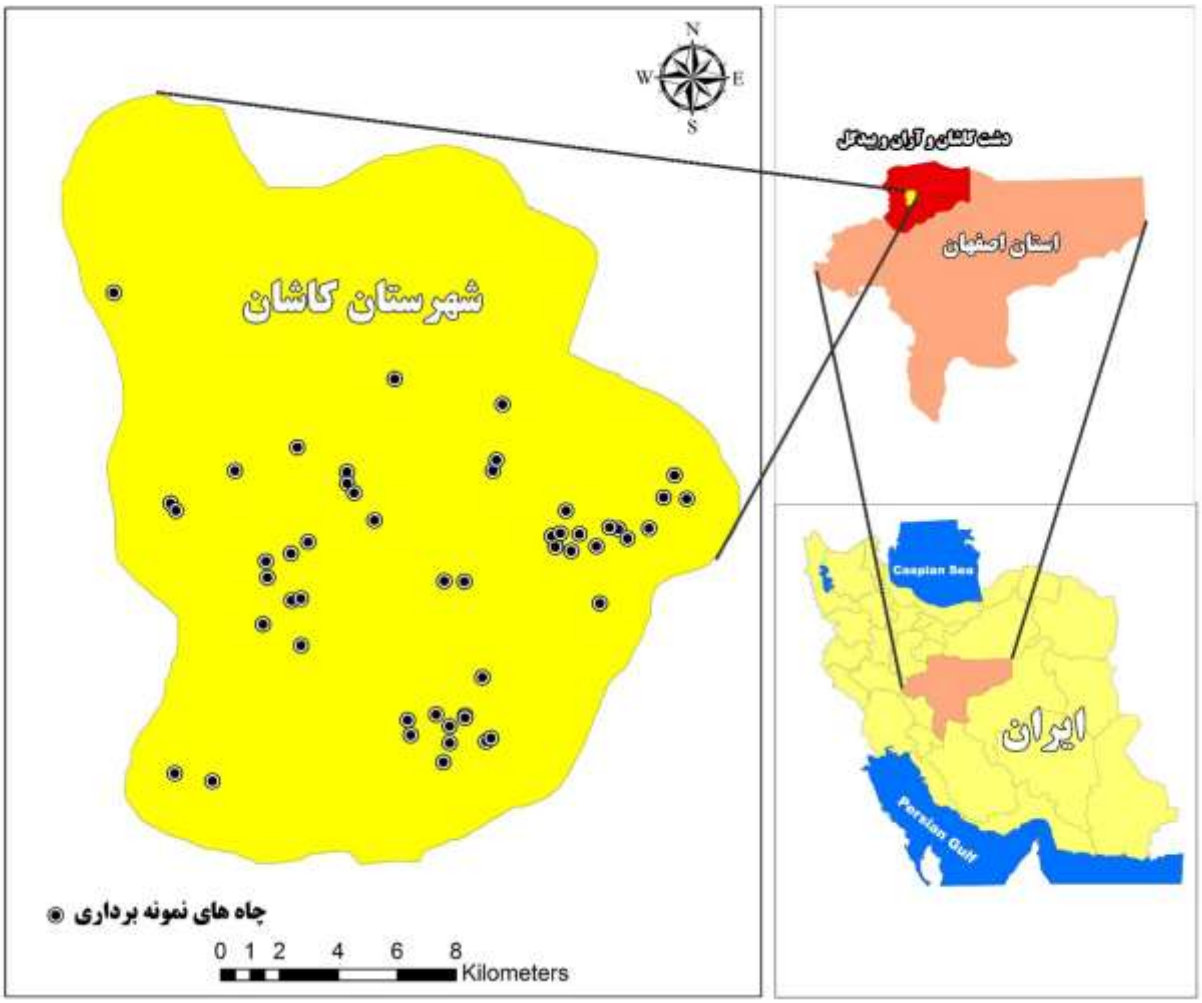
مواد و روش‌ها

_ منطقه مورد مطالعه

شهرستان کاشان در فلات مرکزی ایران و در مختصات جغرافیایی "۵۱°۲۷'۰۰ طول شرقی و "۳۳°۵۹'۳۰ عرض شمالی و با ارتفاع

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

۹۵۰ m از سطح دریا، دارای آب و هوایی گرم و خشک واقع شده است که در شکل ۱ موقعیت این شهرستان و محل چاه‌های آب که نمونه‌برداری از آنها صورت گرفته، نشان داده شده است (۱۸). کاشان از شمال و شرق با دشت کویر و از غرب و جنوب با ارتفاعات اردهال به بلندی ۳۴۶۳ m و کرکس به بلندی ۳۵۸۸ m همسایه است که در این دامنه مساحت ۴۳۹۲ km^2 برای این شهرستان محاسبه شده است، شهرستان کاشان از نظر اقلیم‌شناسی دارای اقلیمی گرم و خشک است و از آن به‌عنوان یکی از شهرهای گرم ایران نام برده می‌شود که دارای میانگین بارش سالیانه از ۱۰۰ mm تا ۱۵۰ است، لازم به ذکر است که جمعیت شهرستان کاشان که از منابع آب تحت نظر شرکت آب و فاضلاب کاشان استفاده می‌کنند ۳۹۰ هزار نفر است (۱۹).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی کاشان و محل استقرار چاه‌های موردمطالعه آنالیز نمونه‌ها

_ نمونه‌برداری، آماده‌سازی و آنالیز

در این مطالعه، ابتدا حجم نمونه با توجه به معادله ۱ محاسبه شد که با توجه به پژوهش‌های گذشته انحراف معیار ۱۰، سطح اطمینان ۹۵ درصد (Z=۱/۹۶) و دقت برابر ۲/۷۵= (۱۵×(۱۰-۲۵ درصد)) بود.

(۱)

$$n=\frac{Z^{2}_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)}\times \delta^{2}}{d^{2}}$$

سلامت و محیط زیست
دوره چهاردهم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۴۰۰
فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران
ijhe.tums.ac.ir

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

با توجه این معادله و جایگذاری اعداد تعداد ۱۴۰ نمونه جهت انجام آزمایش‌ها از چاه‌های آب در فصل تابستان سال ۱۳۹۹ با ۲ بار نمونه برداری برداشت شد و در دمای ۴°C به آزمایشگاه جهت انجام آنالیزهای شیمیایی منتقل شد.

غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها براساس روش‌های ذکر شده در کتاب استاندارد متد موردبررسی و آنالیز قرار گرفت (۲۰). غلظت یون‌های هیدروژن (pH) و هدایت الکتریکی (EC) به ترتیب با استفاده از pH متر و EC متر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. کل جامدات محلول (TDS) با استفاده از ارتباط TDS و EC محاسبه شد که در آن ۰/۵۵ تا ۰/۷۵ از EC به‌دست آمده نمایانگر TDS است (۲۱). در این مطالعه به‌منظور اندازه‌گیری Na^{+} از فلیم فوتومتر استفاده شد و سولفات (SO_4^{-2})، فلوراید (F^{-}) و نیترات (NO_3^{-}) با استفاده از روش‌های اسپکتروفتومتری به ترتیب در طول موج‌های ۴۰۰، ۵۸۰، ۲۲۰-۲۷۵ nm اندازه‌گیری شدند (۲۲، ۲۳).

_ شاخص آب آشامیدنی (WQI)

از WQI به‌صورت گسترده برای ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی استفاده می‌شود. علاوه بر این در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز به‌طور اختصاصی از این شاخص استفاده می‌شود. طبق گزارش‌های سازمان جهانی بهداشت (WHO) در سال ۲۰۰۴، WQI می‌تواند به شناسایی ترکیباتی که بر پارامترهای کیفی در آب آشامیدنی تأثیر می‌گذارد کمک کند؛ بنابراین WQI ابزار مناسبی جهت ارزیابی و رتبه‌بندی کیفی آب چاه‌ها است. ارزش وزنی هر کدام از پارامترهای کیفی براساس استانداردهای توصیه شده و میزان همبستگی با دیگر پارامترها تعیین می‌شود؛ بنابراین در محاسبه WQI، ارزش پارامترهای فیزیکوشیمیایی براساس میزان اهمیت پارامترها در کیفیت کلی آب آشامیدنی تعیین می‌شود (۲۴).

برای محاسبه وزن نسبی پارامترها از معادله ۲ استفاده می‌شود:

(۲)

$$W_i = \sum \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$

W_i: وزن نسبی پارامتر i ام

w_i: وزن پارامتر i ام

n: تعداد پارامترها

جهت محاسبه مقیاس رتبه‌بندی کیفی (q_i) آب آشامیدنی از معادله ۳ استفاده می‌شود:

(۳)

$$q_i = \left(\frac{C_i}{S_i}\right) \times 100$$

C_i: غلظت هر پارامتر در نمونه آب

S_i: رهنمود WHO برای هر پارامتر

جدول ۱- وزن مطلق و نسبی پارامترهای اثرگذار بر محاسبه WQI(۲۵)

پارامتر	وزن نسبی	وزن مطلق
سدیم (mg/L)	۰/۱۲۹	۳
نیترات (mg/L)	۰/۱۳۹	۵
سولفات (mg/L)	۰/۱۶۱	۵
کلرور (mg/L)	۰/۱۶۱	۵
قلیائیت کل (mg/L)	۰/۰۳۲	۱
pH	۰/۰۹۷	۳
TDS (mg/L)	۰/۱۶۱	۵

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جهت محاسبه WQI با در نظر گرفتن وزن نسبی ذکر شده در جدول ۱ از معادله ۴ استفاده می‌شود (۱۴).

$$WQI = \sum_{i=1}^{n} W_i \times q_i \quad (۴)$$

در نهایت مطابق با رتبه بندی درج شده در جدول ۲ طبقه بندی شاخص کیفیت آشامیدنی (WQI) صورت می‌گیرد.

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص کیفیت آشامیدنی (WQI) (۸)

رتبه‌بندی	نوع آب زیرزمینی
<۵۰	عالی
۹۹-۵۰/۹۹	خوب
۱۹۹-۱۰۰/۹۹	ضعیف
۲۹۹-۲۰۰/۹۹	خیلی ضعیف
≥۳۰۰	غیرقابل استفاده برای شرب

_ آنالیز داده‌ها

از ضریب همبستگی پیرسون جهت آنالیز همبستگی استفاده شد. انحراف معیار و حد اطمینان با سطح معنی‌داری ۹۵ درصد بود و در نهایت آنالیز داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم افزار Excel، SPSS-16 و آزمون‌های آماری صورت گرفت.

یافته‌ها

_ پارامترهای فیزیکوشیمیایی

نتایج اندازه‌گیری و آماری پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب ۷۱ چاه شهرستان کاشان در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار یون Na^+ در بازه ۹۷/۹ تا ۶۳۵/۳ mg/L و به‌طورمیانگین در ۷۱ نمونه ۲۴۹/۱۶۲ mg/L است. در رابطه با حضور یون کلرور (Cl^-) غلظت اندازه‌گیری شده نمونه‌ها در بازه ۱۰۶۰/۱ تا ۱۲۳/۵ mg/L و به‌طور میانگین ۳۴۸/۳۷۶ mg/L بود.

نتایج نشان می‌دهد که در هیچ‌کدام از نمونه‌های اندازه‌گیری شده غلظت نیترات (NO_3^-) بیشتر از رهنمود تعریف شده سازمان جهانی بهداشت (۵۰ mg/L) نبود و مقادیر نیترات در بازه ۳/۴ تا ۲۷/۱ mg/L و به‌طور میانگین ۱۰/۲۲۹ mg/L بود.

آنالیز نمونه‌های گرفته شده نشان می‌دهد که غلظت سولفات در آب چاه‌های شهرستان کاشان در بازه ۱۸۰/۸ تا ۷۶۶/۹ mg/L و به‌طور میانگین ۳۱۰/۴۷۶ mg/L بود که تنها ۹/۸۶ درصد از نمونه‌های آنالیز شده دارای غلظتی بیشتر از ۴۰۰ mg/L بودند. در این مطالعه سختی آب در ۵۷/۷۵ درصد از نمونه‌های آنالیز شده بیشتر از حد مجاز است و این پارامتر طیف وسیعی را در برمی‌گیرد و نمونه‌های آنالیز شده دارای سختی ۲۷۷/۴ تا ۱۱۳۶ mg/L as $CaCO_3$ و به‌طور میانگین ۵۲۷/۰۳۱ mg/L as $CaCO_3$ بودند. در این مطالعه هدایت

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

الکتریکی بین ۱۳۳۰ تا ۴۷۱۹ µS/cm بود. در این مطالعه غلظت کل جامدات محلول به‌طور میانگین ۱۳۸۴/۹۱۵ mg/L است و تحلیل نمونه‌ها نشان می‌دهد که در ۲۸/۱۷ درصد از نمونه‌ها غلظت TDS بیشتر از حد مجاز است.

جدول ۳- مقادیر غلظت، انحراف معیار و حدود رهنمودی پارامترهای مورد ارزیابی جهت محاسبه WQI

پارامتر	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۲۶)
دما (°C)	۳۰	۱۵/۱	۲۴/۳۴۹	۳	–
سدیم (mg/L)	۶۳۵/۳	۹۷/۹	۲۴۹/۱۶۲	۸۷/۵۹۹	۲۰۰
نیترات (mg/L)	۲۷/۱	۳/۴	۱۰/۲۲۹	۵/۴۲	۵۰
سولفات (mg/L)	۷۶۶/۹	۱۸۰/۸	۳۱۰/۴۷۶	۱۰۶/۹۰۶	۲۵۰
کلرور (mg/L)	۱۰۶۰/۱	۱۲۳/۵	۳۴۸/۳۷۶	۱۵۸/۷۸۴	۲۵۰
فلوئور (mg/L)	۱/۱۵	۰/۰۴۸	۰/۶۵۳	۰/۲۱۵	۱/۰–۷/۵
قلیائیت کل (mg/L)	۴۵۰/۱	۹۹/۸	۲۱۰/۹۱۳	۹۰/۳۴۱	۵۰۰
سختی کل ($mg/L\ as\ CaCO_3$)	۱۱۳۶	۲۷۷/۴	۵۲۷/۰۳۱	۱۴۱/۳۲۵	–
pH	۷/۹۱	۷/۰۳	۷/۵۱۳	۰/۲۳۲	۸/۶–۵/۵
TDS (mg/L)	۳۳۰۳	۹۳۳	۱۳۸۴/۹۱۵	۳۸۲/۶۷۱	۵۰۰
EC (µS/cm)	۴۷۱۹	۱۳۳۰	۱۹۵۵/۲۶۸	۵۲۵/۶۶۱	۱۵۰۰

ـ ماتریس همبستگی

براساس تجزیه و تحلیل آماری می‌توان ارتباط و تغییرات به وجود آمده در خواص فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی و غلظت یون‌های موجود در آن را توصیف کرد و اثر متقابل آنها را مورد بررسی قرار داد (۲۷). جدول ۴ تجزیه و تحلیل آماری غلظت یون‌ها و پارامترهای فیزیکوشیمیایی را نشان می‌دهد. داده‌ها براساس میانگین مقدار آنها گزارش شده است. براساس نتایج سدیم، کلرور، TDS، و هدایت الکتریکی بیشترین مقدار همبستگی را نشان دادند ($r>0/6$ که نشان دهنده $p<0/05$ است).

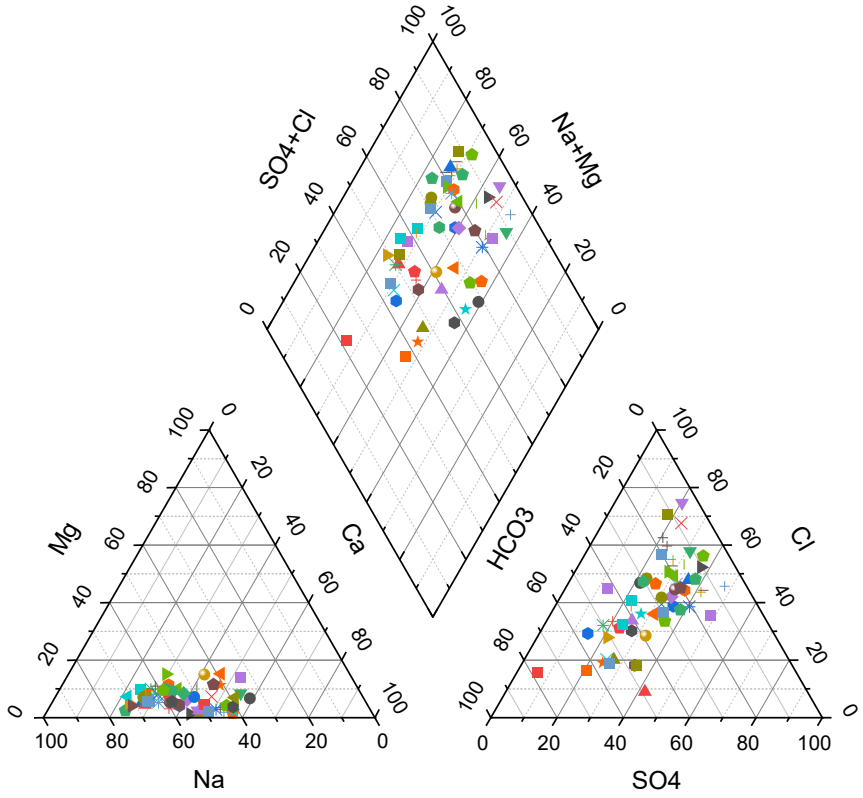
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جدول ۴- ماتریس همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت یون‌ها

	سدیم (mg/L)	نیترات (mg/L)	سولفات (mg/L)	کلرور (mg/L)	فلوئور (mg/L)	قلیائیت کل (mg/L)	سختی کل (mg/L as $CaCO_3$)	pH	TDS (mg/L)	EC (µS/cm)
سدیم (mg/L)	۱									
نیترات (mg/L)	-۰/٤۱۷	۱								
سولفات (mg/L)	۰/۳۷٤	۰/۰۹۵	۱							
کلرور (mg/L)	۰/۸۷۲	۰/۰۹۵	۰/۳۹۳	۱						
فلوئور (mg/L)	۰/۲۵۷	۰/۱٤٦	۰/۲۰۷	۰/۵۹۱	۱					
قلیائیت کل (mg/L)	-۰/۱۳٦	۰/۱۹۱	۰/۱٤٦	-۰/۱۵٦	-۰/۰۹۸	۱				
سختی کل (mg/L as $CaCO_3$)	۰/۰۸۷	۰/۳۲۰	۰/٦٤۷	۰/٤۵۷	۰/٦۰۳	۰/۱۸۸	۱			
pH	۰/۳۲۰	۰/٤٦۹	۰/۰۹۹	۰/۳۷۳	۰/۲۰۱	-۰/۰۳۷	-۰/۰۰۵	۱		
TDS (mg/L)	۰/۷۳۱	-۰/۰٤۷	۰/۷۰۹	۰/۸۹۱	۰/۵۹٦	۰/۰٤۷	۰/۷۲۸	۰/۲۹۳	۱	
EC (µS/cm)	۰/۷۸۸	-۰/۰۱۰	۰/۷٦۰	۰/۸۵٦	۰/۵۰٤	۰/۱۱۱	۰/٦۱۳	۰/٤۱۷	۰/۹٦۸	۱

جهت توصیف کیفیت آب زیرزمینی و همچنین مسیرهای احتمالی ایجاد تغییر در خصوصیات ژئوشیمیایی ناشی از تغییرات بزرگ در مقادیر یون‌های مختلف برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های تحلیلی به دست آمده از تجزیه و تحلیل فیزیکی شیمیایی نمودار ۱ رسم شد. در ایجاد این نمودار پارامترهای خاصی مانند: SO_4+C1، Na+Mg، SO_4، HCO_3، Mg، C1، Na مد نظر هستند. در این مطالعه غلظت یونی عناصر اصلی موجود در آب‌های زیرزمینی برای فراوانی نسبی و وابستگی یونی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نمودار ۱ نشان می‌دهد که در تمام نمونه‌های برداشت شده از چاه‌های آب کاشان بین غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم؛ سدیم بیشترین اثر را در تغییر خاصیت فیزیکوشیمیایی آب دارد.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]



نمودار ۱- نمودار Piper نشان دهنده توزیع یون‌ها در منابع آب زیرزمینی شهرستان کاشان

WQI محاسبه شده از ۷۱ چاه شهرستان کاشان نشان می‌دهد که ۶۷ درصد چاه‌ها دارای کیفیت عالی و ۳۳ درصد چاه‌ها از نظر پارامترهای کیفی آب کیفیت خوب داشتند. در مجموع از ۷۱ نمونه موردبررسی شاخص عددی کیفیت آب ۴۴/۹۴ بود و آب دارای کیفیت عالی بود.

بحث

آنالیز و مقایسه با حدود استاندارد تعریف شده نشان می‌دهد که در ۶۶/۲ درصد از نمونه‌ها مقدار یون Na^+ بیشتر از حد مجاز که ۲۰۰ mg/L است (۲۸). همان‌گونه که در نتایج مشخص شد در ۲۲/۵۴ درصد نمونه‌ها غلظت یون کلرور بیشتر از حد مجاز تعریف شده از سوی سازمان جهانی بهداشت (WHO) بودند که یکی از دلایل آن نمکی بودن بافت خاکی محل استقرار چاه‌ها به علت تعدد شوره‌زارها است. اثرگذاری شوره‌زارها بر افزایش یون سدیم و کلرور توسط Pilar Alvarez و همکاران در مطالعه‌ای که در آب‌های کشور آرژانتین انجام شد نیز به اثبات رسیده و مشخص شده که در مناطقی که اطراف آنها شوره‌زار وجود دارد به علت انحلال NaCl در بافت خاک غلظت یون‌های سدیم و کلرور افزایش یافته و بسیار بیشتر از رهنمودهای تعریف شده می‌شود (۲۹).

دلیل اصلی کم بودن نیترات بستر احداث چاه‌ها و دور بودن از عوامل افزایش نیترات آب مانند دوری از لندفیل شهرستان کاشان است که با نتایج مطالعه Zhifei و همکاران مطابقت دارد و نتایج آن نشان می‌دهد که هرچه فاصله منبع آب از لندفیل‌ها بیشتر شود غلظت نیترات

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

در آن منبع کمتر است (۳۰).

سولفات دارای منابع طبیعی و غیرطبیعی است که منابع طبیعی آن شامل نمک دریا و شوره‌زارها، بارش اتمسفری، مواد معدنی دارای سولفید، انحلال تبخیرهای سولفات و از جمله منابع غیرطبیعی که حاصل فعالیت‌های انسانی است می‌توان به نفوذ کودهای کشاورزی (۳۱)، فاضلاب صنایع و شیرابه مکان دفع زباله به منابع آب اشاره کرد (۳۲) که تخلیه مداوم فاضلاب صنایع و استفاده بی‌رویه از کودهای حاوی سولفات به‌صورت مصنوعی باعث افزایش غلظت سولفات در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (۳۳) که در این رابطه نیز وجود شوره‌زارها و استفاده از کود در زمین‌های کشاورزی نزدیک چاه‌های مورد مطالعه بر افزایش سولفات اثرگذار است (۵) که البته با توجه به مطالعه Kalavanthy و همکاران بر روی کیفیت آب در شهرهایی که صنعت کشاورزی رونق دارد و به مقدار زیاد از کود استفاده می‌کنند ولی شوره‌زار وجود ندارد می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شوره‌زارها بیشترین اثر را در افزایش غلظت یون سولفات دارند (۳۴).

Sudarshan و همکاران در مطالعه خود بیان کردند که سختی در واقع واکنش آب در مواجهه با مواد شوینده است که دلیل اصلی آن وجود یون‌های کلسیم و منیزیم است که سختی موقت است و با جوشاندن آب حذف می‌شوند اما سختی دیگری نیز وجود دارد که در اثر حضور یون‌های کلرور و سولفات در منابع آب به وجود می‌آید و سختی دائمی آب را به وجود می‌آورد. لازم به ذکر است که حداکثر سختی قابل‌قبول آب ۵۰۰ mg/L as $CaCO_3$ است (۳۵). همان‌گونه که در مطالعه Sudarshan و همکاران (۳۵) عنوان شده است کلرور و سولفات اثر زیادی بر افزایش سختی دارند و با توجه به بالا بودن غلظت این دو یون در آب چاه‌های کاشان می‌توان این‌گونه بیان کرد که نزدیکی به شوره‌زارها باعث اثر مستقیم و غیرمستقیم به میزان سختی آب می‌شود. لازم است به این نکته توجه شود که یکی از دلایل بالا بودن هدایت الکتریکی و اینکه غلظت سدیم بیشترین اثر را بر کیفیت فیزیکوشیمیایی آب می‌گذارد بالا بودن غلظت نمک‌های مختلف در منبع آب است (۳۶). هدایت الکتریکی به‌صورت مستقیم با غلظت جامدات محلول (TDS) آب ارتباط دارد. با توجه به بالا بودن مقدار هدایت الکتریکی و مقادیر زیاد نمک در نمونه‌های آب مورد آنالیز، غلظت کل جامدات محلول نیز بالا است (۳۷). به‌طور کلی، ضریب بالای همبستگی بین پارامترهای کیفی آب نشان می‌دهد که سولفات، سدیم و کلرید اثر متقابل قابل‌ملاحظه‌ای را در بین سایر پارامترها دارد؛ بنابراین غلظت بالای این سه پارامتر به‌عنوان نتیجه‌ای از فعالیت‌های انسانی و منشأهای طبیعی مثل ترکیبات خاک و سنگ‌ها است (۳۸).

WQI به‌دست آمده صرفا برای آب چاه‌های کاشان است و شامل آب آشامیدنی شهری نمی‌شود چرا که به‌منظور افزایش کیفیت آب آشامیدنی در تأسیسات توزیع آب مقدار قابل توجه از آب تصفیه شده و با کیفیت مطلوب زاینده‌رود که با خط لوله از اصفهان تا کاشان کشیده شده اضافه می‌شود که باعث کاهش عدد شاخص WQI در نقاط مصرف به کمتر از ۴۴/۹۴ می‌شود اما درصورتی‌که این آب با آب چاه‌های کاشان مخلوط نشود با توجه به برداشت زیاد آب در فصول گرم عدد شاخص به بالاتر از مقدار ۴۴/۹۴ می‌تواند برسد که یکی از دلایل آن تغلیظ پارامترهای شیمیایی است (۳۹).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه ۷۱ نمونه آب‌های زیرزمینی در شهرستان کاشان به‌منظور مصارف شرب و آبیاری مورد بررسی قرار گرفت و از شاخص WQI برای ارزیابی کیفیت آب استفاده شد که می‌تواند اطلاعات خوبی در اختیار سیاست‌گذاران و مدیران قرار دهد. از نتایج این‌گونه می‌توان برداشت کرد که وجود شوره‌زارهای مختلف کیفیت آب‌های زیرزمینی کاشان را تحت تأثیر خود قرار داده است چرا که یون‌هایی مانند سدیم، سولفات و کلرور به‌طور مستقیم با وجود شوره‌زار در یک منطقه مرتبط هستند و باعث بالا رفتن مقادیر غلظت‌های EC و TDS و همچنین به هم خوردن تعادل آنیونی و کاتیونی در محیط‌های آبی می‌شود. به این علت که در حریم

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

چاه‌ها لندفیل و چاه جذبی فاضلاب وجود ندارد غلظت نیترات که باعث ایجاد مشکل در بسیاری از نقاط ایران شده است کمتر از حد مجاز است. WQI نشان می‌دهد که ۶۷ درصد از چاه‌ها دارای کیفیت عالی هستند و در مجموع WQI شهرستان کاشان عدد ۴۴/۹۴ را نشان می‌دهد که بیان‌کننده این است که آب ۷۱ چاه مورد بررسی در این مطالعه از نظر کیفیت فیزیکوشیمیایی در طبقه‌بندی عالی قرار دارند.

این مطالعه فقط جهت اندازه‌گیری آب زیرزمینی چاه‌های آب شهرستان کاشان انجام شده است و نمونه‌های گرفته شده حاوی آب زاینده‌رود که به شهرستان کاشان انتقال می‌شود، نیست. از آنجاییکه تمام تأسیسات آبرسانی شهری کاشان مقداری از آب با کیفیت زاینده‌رود را دریافت می‌کنند، مقادیر پارامترهای شیمیایی در محل مصرف کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده از چاه‌ها است لذا کیفیت بالاتری را می‌توان انتظار داشت. همچنین نمونه‌های گرفته شده در این مطالعه برای یک سال است، شاید در صورتی‌که نمونه‌ها در مدت ۳ ساله از منابع آب برداشت شود نتایج قابل تعمیم‌تری حاصل گردد.

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

بدین‌وسیله از سازمان آب و فاضلاب شهرستان کاشان جهت حصول دسترسی به منابع آب جهت اندازه‌گیری همکاری کردند تقدیر و تشکر می‌کنیم.

References

1. Yousefi M, Ghoochani M, Mahvi AH. Health risk assessment to fluoride in drinking water of rural residents living in the Poldasht city, Northwest of Iran. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2018;148:426-30.

2. Mohammadi AA, Yousefi M, Yaseri M, Jalilzadeh M, Mahvi AH. Skeletal fluorosis in relation to drinking water in rural areas of West Azerbaijan, Iran. Scientific Reports. 2017;7(1):1-7.

3. Fallahati A, Soleimani H, Alimohammadi M, Dehghanifard E, Askari M, Eslami F, et al. Impacts of drought phenomenon on the chemical quality of groundwater resources in the central part of Iran—Application of GIS technique. Environmental Monitoring and Assessment. 2020;192(1):1-19.

4. Bidhendi GN, Karbassi A, Nasrabadi T, Hoveidi H. Influence of copper mine on surface water quality. International Journal of Environmental Science & Technology. 2007;4(1):85-91.

5. Rezvani Ghalhari M, Ajami B, Ghordouei Milan E, Zeraatkar A, Mahvi AH. Assessment of non-carcinogenic health risk of nitrate of groundwater in Kashan, Central Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2021:1-13. doi: 10.1080/03067319.2021.1931157.

6. Jackson RB, Carpenter SR, Dahm CN, McKnight DM, Naiman RJ, Postel SL, et al. Water in a changing world. Ecological Applications. 2001;11(4):1027-45.

7. Sajedi-Hosseini F, Malekian A, Choubin B, Rahmati O, Cipullo S, Coulon F, et al. A novel machine learning-based approach for the risk assessment of nitrate groundwater contamination. Science of the Total Environment. 2018;644:954-

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

62.

8. Abbasnia A, Yousefi N, Mahvi AH, Nabizadeh R, Radfard M, Yousefi M, et al. Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2019;25(4):988-1005.

9. Baghvand A, Nasrabadi T, Bidhendi GN, Vosoogh A, Karbassi A, Mehrdadi N. Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert. Desalination. 2010;260(1-3):264-75.

10. Aghazadeh N, Mogaddam AA. Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Oshnavieh Area, Northwest of Iran. Journal of Environmental Protection. 2010;1(01):30-40.

11. Abbasnia A, Alimohammadi M, Mahvi AH, Nabizadeh R, Yousefi M, Mohammadi AA, et al. Assessment of groundwater quality and evaluation of scaling and corrosiveness potential of drinking water samples in villages of Chabahr city, Sistan and Baluchistan province in Iran. Data in brief. 2018;16:182-92.

12. Abboud IA. Geochemistry and quality of groundwater of the Yarmouk basin aquifer, north Jordan. Environmental Geochemistry and Health. 2018;40(4):1405-35.

13. Mirzabeygi M, Abbasnia A, Yunesian M, Nodehi RN, Yousefi N, Hadi M, et al. Heavy metal contamination and health risk assessment in drinking water of Sistan and Baluchistan, Southeastern Iran. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2017;23(8):1893-905.

14. Abbasnia A, Radfard M, Mahvi AH, Nabizadeh R, Yousefi M, Soleimani H, et al. Groundwater quality assessment for irrigation purposes based on irrigation water quality index and its zoning with GIS in the villages of Chabahar, Sistan and Baluchistan, Iran. Data in Brief. 2018;19:623-31.

15. Sepehrnia B, Nabizadeh R, Mahvi A, Naseri S. Water quality analysis of drinking water distribution systems of Rey Township using IWQIS software. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):103-14 (in Persian).

16. Nabizadeh R, Amin MV, Alimohammadi M, Naddafi K, Mahvi AH, Yousefzadeh S. Development of innovative computer software to facilitate the setup and computation of water quality index. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2013;11(1):1-10.

17. Nasirian H, Alimohammadi M, Kamandar M, Barahwie LS, Moghadam HM, Sheikhi R, et al. Water quality evaluation of the Shadegan and Hawr Al Azim wetlands from Iran. Indian Journal of Scientific Research. 2015;6(2):11-24.

18. Dehghani R, Vazirianzadeh B, Nasrabadi MR, Moravvej SA. Study of scorpionism in Kashan in central of Iran. Pakistan Journal of Medical Sciences. 2010;26(4):955-58.

19. Rezvani Ghalhari M, Kalteh S, Asgari Tarazooj F, Zeraatkar A, Mahvi AH. Health risk assessment of nitrate and fluoride in bottled water: a case study of Iran. Environmental Science and Pollution Research. 2021;28(35):48955-66.

20. Baird RB, Eaton AD, Rice EW, Bridgewater L. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC: American Public Health Association; 2017.

21. Asano T, Burton F, Leverenz H. Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications. New York: McGraw-Hill; 2007.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

22. Kalmár J, Dóka É, Lente G, Fábián I. Aqueous photochemical reactions of chloride, bromide, and iodide ions in a diode-array spectrophotometer. Autoinhibition in the photolysis of iodide ions. Dalton Transactions. 2014;43(12):4862-70.

23. Ozbek N, Akman S. Method development for the determination of fluorine in toothpaste via molecular absorption of aluminum mono fluoride using a high-resolution continuum source nitrous oxide/acetylene flame atomic absorption spectrophotometer. Talanta. 2012;94:246-50.

24. Tyagi S, Sharma B, Singh P, Dobhal R. Water quality assessment in terms of water quality index. American Journal of Water Resources. 2013;1(3):34-38.

25. WHO. Information Products: Water, Sanitation and Health. Geneva: World Health Organization; 2004.

26. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2011.

27. Kunst Valentini MH, dos Santos GB, Duarte VH, Franz HS, Guedes HAS, Romani RF, et al. Analysis of the influence of water quality parameters in the final WQI result through statistical correlation methods: Mirim Lagoon, RS, Brazil, Case study. Water, Air, & Soil Pollution. 2021;232(9):1-10.

28. Hudak PF. Water hardness and sodium trends in Texas aquifers. Environmental Monitoring and Assessment. 2001;68(2):177-85.

29. del Pilar Alvarez M, Carol E, Bouza PJ. Precipitation/dissolution of marine evaporites as determinants in groundwater chemistry in a salt marsh (Península Valdés, Argentina). Marine Chemistry. 2016;187:35-42.

30. Ma Z, Yang Y, Lian X, Jiang Y, Xi B, Peng X, et al. Identification of nitrate sources in groundwater using a stable isotope and 3DEEM in a landfill in Northeast China. Science of the Total Environment. 2016;563:593-99.

31. Alpers CN, Jambor JL, Nordstrom D. Sulfate minerals: crystallography, geochemistry, and environmental significance. USA: Mineralogical Society of America; 2018.

32. Kabdaşlı I, Bilgin A, Tünay O. Sulphate control by ettringite precipitation in textile industry wastewaters. Environmental Technology. 2016;37(4):446-51.

33. Westholm LJ, Repo E, Sillanpää M. Filter materials for metal removal from mine drainage—a review. Environmental Science and Pollution Research. 2014;21(15):9109-28.

34. Kalavathy S, Sharma TR, Sureshkumar P. Water quality index of river Cauvery in Tiruchirappalli district, Tamilnadu. Archives of Environmental Science. 2011;5:55-61.

35. Sudarshan P, Mahesh M, Ramachandra T. Assessment of seasonal variation in water quality and water quality index (WQI) of Hebbal Lake, Bangalore, India. Environment and Ecology. 2019;37(1B):309-17.

36. Amini S, Ghadiri H, Chen C, Marschner P. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. Journal of Soils and Sediments. 2016;16(3):939-53.

37. Rahpou F, Ghayoor H, Rajabi Z. Investigation the quality changes of Zayandehrud river water using fuzzy logic. Geography and Development. 2019;16(53):1-3.

38. Soleimani H, Nasri O, Ojaghi B, Pasalari H, Hosseini M, Hashemzadeh B, et al. Data on drinking water quality using water quality index (WQI) and assessment of groundwater quality for irrigation purposes in Qorveh & Dehgolan, Kurdistan, Iran. Data in Brief. 2018;20:375-86.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

39. Bytyçi P, Çadraku H, Etemi FZ, Ismaili M, Fetoshi O, ShalaAbazi A. The assessment of surface water quality in the Lepenc river basin using water quality index (WQI) methodology. Rasayan Journal of Chemistry. 2018;11:653-60.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Evaluation of groundwater quality for drinking purposes in Kashan using water quality indicators

Mohammad Rezvani Ghalhari[1], Benyamin Ajami[1], Esfandiar Ghordouei Milan[1], Moein Khalooei[2], Amir Hossein Mahvi[1,3,*]

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Department of Health and Safety, and Environment (HSE), School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3- Center for Solid Waste Research, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 23 October 2021
Revised: 12 January 2022
Accepted: 17 January 2022
Published: 12 March 2022

Keywords: Drinking water, Groundwater, Water quality index

***Corresponding Author:**
ahmahvi@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: Groundwater is the primary water source for drinking and agricultural activities in arid and semi-arid regions. Rainfall, land use, geological structure, aquifer mineralogy, and duration of water contact with the environment in the basement are the main factors affecting the chemical quality of groundwater. This study aimed to determine the physicochemical properties of groundwater by considering the water quality index (WQI) and its quality assessment for drinking water.

Materials and Methods: In this study, 71 wells of Kashan were sampled in summer 2020 with three samplings from each well, and physical and chemical parameters were studied, water quality index was determined using mathematical methods, and Pearson correlation coefficient was determined. Correlation analysis was used. Finally, the collected data were analyzed using SPSS-16 software, Excel 2013, and statistical tests.

Results: The calculated WQI of 71 wells in Kashan shows that 67% of the wells were of excellent quality, and 33% were of good quality in terms of water quality parameters. In total, out of 71 samples, the numerical index of water quality was 44.94, and the water was of excellent quality.

Conclusion: The results show that ions such as sodium, sulfate, and chlorine are directly related to the counting in an area and increase the concentrations of EC and TDS, and can impair the balance of anionic and cationic aqueous solution. It was also found that more than half of the wells have excellent quality due to using water wells for drinking.

Please cite this article as: Rezvani Ghalhari M, Ajami B, Ghordouei Milan E, Khalooei M, Mahvi AH. Evaluation of groundwater quality for drinking purposes in Kashan using water quality indicators. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;14(4):615-28.

Copyright © 2022 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]