

Analytical Examination of Nutritional Value of Drinking Water Using the Drinking Water Nutritional Quality Index Case Study: Drinking Water of Shiraz City

Mohsen Asadi¹, Masoud Noshadi^{1*}  and Ali Reza Noshadi²

(Received: January 11-2025 ; Revised: January 9-2025 ; Accepted: March 2-2025)

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2. School of Medicine, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran.

*: Corresponding author Email: noshadi@shirazu.ac.ir

Abstract

In this research, drinking water quality was investigated using acceptability, health, and nutrition-based indicators from 2010 to 2022 in Shiraz City (Fars province). Magnesium, fluoride, and calcium play a significant role in the contribution of drinking water in Shiraz City to the intake of dietary minerals. The acceptability water quality index (AWQI), health-based water quality index (HWQI), and drinking water quality index (DWQI) rankings in Shiraz City are excellent, but the average drinking water nutritional quality index (DWNQI) of Shiraz City is 77.52 ± 5.47 , which falls within the good ranking. Therefore, while the conventional water quality indices (AWQI, HWQI, and DWQI) are excellent, the DWNQI index does not achieve an excellent rating, due to the inclusion of the nutritional value of water in the DWNQI index. In general, the trend of AWQI, HWQI, DWQI, and DWNQI over thirteen years in Shiraz City shows that the conventional drinking water quality indices (AWQI, HWQI, and DWQI) do not provide an accurate picture of the assessment of drinking water quality in many cases, as they do not consider the nutritional role of water. For this reason, water is sometimes treated more than necessary. Therefore, it is essential to revise the interpretation of drinking water quality using the DWNQI index to gain a comprehensive picture of drinking water quality.

Keywords: Drinking water, Nutrient elements, DWNQI index, Water quality, Water treatment

How to cite this article: Asadi, M., Noshadi, M. and Noshadi, A. 2025. Analytical Examination of Nutritional Value of Drinking Water Using the Drinking Water Nutritional Quality Index Case Study: Drinking Water of Shiraz City. *J. Water and Soil Sci.* 29(2):69-82. DOI: [10.47176/jwss.29.2.5588](https://doi.org/10.47176/jwss.29.2.5588)

Copyright © 2025 Asadi et al. Published by Isfahan University of Technology.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

واکاوی ارزش تغذیه‌ای آب آشامیدنی با استفاده از شاخص کیفی تغذیه‌ای آب آشامیدنی (مطالعه موردی: آب آشامیدنی شهر شیراز)

محسن اسدی^۱، مسعود نوشادی^{۱*}  و علیرضا نوشادی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲)

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲. دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: noshadi@shirazu.ac.ir

چکیده

در این پژوهش کیفیت آب آشامیدنی با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر مقبولیت، سلامت و تغذیه در بازه ۲۰۱۰-۲۰۲۲ در شهر شیراز (استان فارس) بررسی شد. منیزیم، فلوراید و کلسیم به ترتیب بیشترین نقش را در مشارکت آب آشامیدنی شهر شیراز در دریافت مواد معدنی مربوط به رژیم غذایی ایفا می‌کنند. رتبه‌بندی شاخص کیفیت آب آشامیدنی (DWQI) و زیرشاخص‌های مقبولیت (AWQI) و سلامت (HWQI) در شهر شیراز عالی است، ولی میانگین شاخص کیفی تغذیه‌ای آب آشامیدنی (DWNQI) شهر شیراز $57/52 \pm 5/47$ است که در رتبه‌بندی خوب قرار دارد؛ بنابراین درحالی‌که شاخص‌های متداول کیفیت آب (DWQI، HWQI، AWQI) عالی هستند، ولی شاخص DWNQI عالی نیست که به دلیل لحاظ کردن ارزش تغذیه‌ای آب در شاخص DWNQI است. به‌طور کلی روند (DWNQI، HWQI، AWQI) در بازه سیزده ساله شهر شیراز نشان می‌دهد که شاخص‌های معمول کیفیت آب آشامیدنی (DWNQI، DWQI، HWQI) تصویر دقیقی از ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی در بسیاری از موارد ارائه نمی‌دهد؛ زیرا نقش تغذیه‌ای آب را در نظر نمی‌گیرند و به همین دلیل گاهی اوقات آب بیشتر از نیاز تصفیه می‌شود؛ بنابراین تجدیدنظر در تفسیر کیفیت آب آشامیدنی در استفاده از دیدگاه ارزش تغذیه‌ای آب آشامیدنی (DWNQI) برای داشتن تصویری جامع از کیفیت آب آشامیدنی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: آب آشامیدنی، عناصر غذایی، شاخص DWNQI، کیفیت آب، تصفیه آب

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۴

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقدمه

کیفیت آب آشامیدنی یکی از بزرگ‌ترین عوامل مؤثر بر سلامت انسان است و در نتیجه آب مصرفی ابتدا تصفیه می‌شود تا مطابق شرایط استاندارد آب آشامیدنی باشد. هرچند کمبود مواد مغذی یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌های حوزه سلامت در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است، اما دریافت بیش از اندازه این مواد آثار معکوس دارد (۲۰). مواد معدنی از مؤلفه‌های غذایی مورد نیاز برای رشد عادی، نمو و تعادل حیاتی بدن هستند.

در واکاوی‌های فیزیکوشیمیایی کیفی آب شرب، با تجزیه نمونه‌های آب و تعیین مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها، نمودارهایی مانند پایپر (Piper)، دوروف (Durov)، شولر (Schoeller) و استیف (Stiff) (۲۳، ۱۲، ۲۷ و ۲۸) ترسیم می‌شوند. در نمودار پایپر تفاوت‌ها و شباهت‌های کیفی نمونه‌های آب کاملاً متمایز و واکاوی و مقایسه همزمان تعداد زیادی از نمونه‌های آبی امکان‌پذیر است. نمودار دوروف بسیار مشابه پایپر بوده و برخی فرایندها و گروه‌های مختلف هیدروشیمیایی را نشان می‌دهد و بررسی واکنش‌های غالب آب در جهات مختلف امکان‌پذیر است. نمودار استیف تأثیر نوع تشکیلات زمین‌شناسی بر کیفیت آب را بیان می‌کند و هر نمودار برای یک نمونه آب است که از معایب کاربرد آن است. در نمودار شولر پارامترهای کیفی مجزا در مقیاس لگاریتمی به شکل میله‌ای هستند که با اتصال مقادیر پارامترهای مختلف، خط شکسته‌ای به‌دست می‌آید و با توجه به آن کیفیت آب شرب تعیین می‌شود (۱۷).

در بررسی آب زیرزمینی با نمودار پایپر در منطقه سراوان ایران، سه رخساره (نوع آب) تشخیص داده شد و نتایج بررسی هیدروشیمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی نشان داد که روند افزایش نسبت درصد کلراید و سدیم از منابع آب قنات‌ها به سمت منابع آب چاه در نمودار پایپر قابل مشاهده است. همچنین افزایش عمق چاه‌های برداشت سبب افزایش نسبت درصد کلراید و سدیم در آب زیرزمینی خروجی از چاه شده است. بر اساس تحلیل عاملی، انحلال کانی‌ها و عوامل کنترل‌کننده اسیدیته/قلیائیت بر کیفیت آبخوان اثرگذار است (۱۱).

در رودخانه نیل استان بنی سو ف مصر با نمودار پایپر پنج رخساره وجود داشت که منعکس‌کننده طیف وسیعی از تکامل شیمیایی آب در آبخوان منطقه است. این تغییرات می‌تواند به عوامل متعددی از جمله تشکیلات زمین‌شناسی، فعالیت‌های انسانی و اختلاط منابع مختلف آب مرتبط باشد. نمودار پراکندگی پایپر نمونه‌های آب را به پنج رخساره جداگانه تقسیم کرد و ۲۳/۱ درصد در رخساره Na-Cl، ۳۴ درصد در رده کلسیم-منیزیم HCO_3 ، ۱۷/۴ درصد به‌عنوان Na-Ca-HCO_3 ، ۲۱/۸ درصد در ناحیه مختلط Facio/So-Mg و $\text{SO}_4\text{-C}$ قرار گرفتند. بقیه ۲/۸ درصد از نمونه‌ها Na-HCO_3 بودند (۱۳).

ارزیابی جداگانه پارامترهای کیفی آب، یک معیار خوب برای تعیین کیفیت آب نیست. در مقابل، روش‌های سستی حتی با حضور متخصصان کیفیت آب، می‌تواند منجر به قضاوت‌های فردی و نامناسب شود؛ بنابراین شاخص‌های گوناگون کیفیت آب توسعه یافته‌اند تا پارامترهای کیفیت آب با استفاده از ابزار ریاضی به یک شاخص عددی یکپارچه تبدیل شوند (۲۶).

حدود شش دهه از اولین شاخص کیفیت آب (هورتون) گذشته است. میانگین وزنی حسابی استفاده شده توسط هورتون (۱۴) نسبت به اثر کاهش مقادیر برخی از پارامترهای کیفیت آب حساسیتی نداشت (۵). بررسی پژوهش‌های صورت گرفته روی شاخص‌های کیفیت آب نشان می‌دهد که این شاخص‌ها مقدار زیادی از داده‌های کیفیت آب را یکپارچه کرده و به یک مقدار ساده و قابل درک تبدیل کرده است. کاربردهای موفق شاخص‌های کیفیت آب به دلیل کمک به کاهش مقدار زیادی از داده‌های علمی و توصیف وضعیت کیفیت آب به عموم مردم و سیاست‌گذاران، با استفاده از یک رتبه‌بندی بدون بعد بوده است. حتی ذی‌نفعان غیر فنی هم، رتبه‌بندی کیفیت آب را می‌فهمند (۹).

در یک پژوهش، با استفاده از ۳۰ برند بطری آب آشامیدنی موجود در فروشگاه‌های استان همدان و بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مشخص شد که بیشتر بطری‌های آب در طبقه‌بندی بی‌کربنات کلسیم نمودار پایپر

زمانی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۱ هجری خورشیدی (۲۰۱۰-۲۰۲۲ میلادی) انجام شده است. مرکز استان فارس در ارتفاع ۱۴۸۶ متری از سطح دریا در دامنه رشته کوه زاگرس (در جنوب غربی ایران) قرار دارد و با میانگین بارش سالیانه ۳۳۷/۸ میلی‌متر (۲۵) دارای آب و هوای معتدل است. سرانه مصرف آب شرب در سال ۲۰۱۹، ۱۴۵ لیتر بر روز بود (۱۸). این شهر پنجمین شهر بزرگ ایران بوده و جمعیت آن در سال ۱۴۰۰ هجری خورشیدی ۱۹۵۵۰۰۰ نفر است که پرجمعیت‌ترین شهر جنوب ایران است.

مبانی نظری پژوهش

تعیین مشارکت آب آشامیدنی در دریافت مواد معدنی (شاخص DWNQI)

میزان مجاز مربوط به رژیم غذایی توصیه‌شده (Recommended Dietary Allowance) (RDA)، میانگین سطح رژیم غذایی روزانه ورودی است که برای برطرف کردن نیاز در حد کفایت تقریباً تمامی افراد سالم (۹۷ تا ۹۸ درصد) در یک مرحله خاصی از زندگی و گروه جنسیتی است. مشارکت آب آشامیدنی در تأمین مواد مغذی معدنی با توجه به گروه‌های سنی - جنسیتی و کل جمعیت براساس معادلات (۱) و (۲) محاسبه شد (۲):

$$F_{ij} = (C_i \times V_j) \times 100 / A_{ij} \quad (1)$$

$$F_i = \left(\sum_{j=1}^{j=n} F_{ij} P_j \right) / \left(\sum_{j=1}^{j=n} P_j \right) \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

که در این معادلات، F_{ij} درصد مشارکت آب آشامیدنی در RDA i ام عنصر مربوط به رژیم غذایی در گروه j ام سنی - جنسیتی، C_i غلظت i امین عنصر مربوط به رژیم غذایی (میلی‌گرم بر لیتر)، V_j حجم آب آشامیدنی مصرفی در گروه j ام سنی - جنسیتی (لیتر) (جدول ۱)، A_{ij} RDA i امین عنصر مربوط به رژیم غذایی در گروه j ام سنی - جنسیتی (میلی‌گرم بر روز) (جدول ۱)، F_i درصد مشارکت آب آشامیدنی در RDA i ام عنصر مربوط به رژیم غذایی در کل جمعیت، P_j

قرار داشتند و نتایج تحلیل حساسیت الگوریتم مونت کارلو (Monte Carlo Algorithm) نشان داد که نترات، سدیم، سختی و نیتريت بیشترین اثر را بر امتیاز شاخص کیفیت آب آشامیدنی بطری (Bottled Water Quality Index) (BWQI) داشته‌اند (۶). در پژوهشی برای بررسی کیفیت میکروبی و شیمیایی آب‌های بطری در بازار ایران، ۷۱ برند به‌صورت تصادفی جمع‌آوری شد. حدود ۶۳ و ۳۴ درصد از نمونه‌ها به‌ترتیب دارای شاخص کیفیت آب بسیار خوب و خوب بودند (۳). همچنین در پژوهش دیگری، ۷۱ برند آب بطری و آب معدنی برای ارزیابی مشارکت آب آشامیدنی در جذب مواد مغذی در ایران بررسی شد و متوسط مشارکت در جذب مواد مغذی توصیه‌شده فلوراید، منیزیم، کلسیم، سدیم، مس، روی و منگنز به‌ترتیب ۴/۸۵، ۲/۱۲، ۰/۴۹، ۰/۳۳، ۰/۰۲ و ۴/۹۸ درصد بود. بیشتر برندهای مناسب آب معدنی بودند، اما مقدار قابل‌توجهی از آب بطری از نظر کیفیت مواد مغذی نامرغوب بود؛ بنابراین، اضافه کردن مواد معدنی موردنیاز بدن توسط برندهای آب بطری باید در دستور کار قرار گیرد (۷). بررسی دریافت مواد معدنی رژیم غذایی مردم بیست تا پنجاه ساله شیراز، نشان داد که آب آشامیدنی در تأمین کلسیم و روی رتبه اول و در تأمین سدیم و منیزیم رتبه چهارم را در بین بیست گروه غذایی دارد (۸).

محدودیت عمده این پژوهش، دسترسی به داده‌های کیفیت آب آشامیدنی و منابع آب بود که متأسفانه معمولاً در بیشتر پژوهش‌های منابع آب وجود دارد.

با توجه به موارد فوق، بررسی جامع و کامل آب آشامیدنی شهر شیراز با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر سلامت انسان، مقبولیت و کیفیت تغذیه‌ای آب آشامیدنی برای ایجاد اطمینان خاطر ذی‌نفعان، مدیران و سیاست‌گذاران در تصمیم‌گیری برای نیل به جامعه سالم و پایدار ضروری است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در شهر شیراز (مرکز استان فارس) در بازه

از آنجایی که غلظت آب آشامیدنی عناصر مربوط به رژیم غذایی با مقیاس‌های مختلف نمی‌تواند شامل یک شاخص یکپارچه مستقیم باشد، یک تابع ریاضی به‌عنوان زیرشاخص (SI) (Sub Index) معرفی شده است تا غلظت عناصر مختلف مربوط به رژیم غذایی به یک ارزش درجه‌بندی بین ۰ و ۱۰۰ تبدیل شود. دو عامل تعیین‌کننده در توسعه معادله زیرشاخص در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از: تفاوت بین غلظت مشاهده‌شده و بیشینه سطح مطلوب مربوطه. همچنین بیشینه مشارکت مطلوب آب آشامیدنی با توجه به RDA. توابع $F_{i,u}$ (معادله ۶) و SI_i (معادله ۷) عبارت است از:

$$F_{i,u} = 100 \times \left(\frac{\sum_{i=m, j=n} \frac{BL_i \times V_j \times P_j}{A_{ij}}}{\left(\sum_{j=1}^{j=n} P_j \right)} \right) \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$SI_i = \left(1 - \left(\frac{BL_i - C_i}{BL_i} \right)^{1+(F_{i,u}/\alpha)} \right) \times 100 \quad C_i \leq BL_i \quad (7)$$

که در این معادلات، $F_{i,u}$ بیشینه درصد مشارکت مطلوب آب آشامیدنی در RDA عنصر نام مربوط به رژیم غذایی، SI_i زیرشاخص بی‌بعد عنصر نام مربوط به رژیم غذایی به‌استثنای سدیم (به‌دلیل مصرف زیاد سدیم در سایر غذاها تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، زیرشاخص برابر ۱۰۰ درصد است)، BL_i سطح مبنا یا بیشینه غلظت مطلوب در عنصر نام مربوط به رژیم غذایی (میلی‌گرم بر لیتر) و α ثابت تابع SI_i است. به این دلیل در معادله SI_i ، ثابت α تعریف شده است که تأثیر $F_{i,u}$ بر مقدار زیرشاخص تعدیل شود (۲).

به‌منظور در نظر گرفتن تأثیرات معکوس یا منفی بهداشتی عناصر مختلف مانند مس، فلئور و منگنز در DWNQI، معادله (۸) معرفی شده است:

$$SI_i = \left(1 - \left(\frac{C_i - SV_i}{SV_i} \right)^{1+(\alpha/F'_{i,u})} \right) \times 100 \quad (8)$$

$$SV_i < C_i < 2 \times SV_i$$

که در آن، SV_i مقدار استاندارد یا بیشینه سطح مجاز آلاینده عنصر مربوط به رژیم غذایی (میلی‌گرم بر لیتر) و $F'_{i,u}$ بیشینه مشارکت مجاز آب آشامیدنی در RDA عنصر نام مربوط به رژیم غذایی

جمعیت در گروه نام سنی - جنسیتی، m تعداد عناصر مربوط به رژیم غذایی و n تعداد گروه‌های سنی - جنسیتی است.

متوسط نیازمندی تخمین زده‌شده (Estimated Average Requirements) (EAR)، سطح تخمین زده‌شده میانگین ماده مغذی دریافتی روزانه برای برآورده کردن نیمی از نیازمندی نصف افراد سالم در یک گروه سنی - جنسیتی معین است (۲۹). اگر نیاز برای ماده مغذی به‌صورت نرمال توزیع شده باشد و مقدار انحراف معیار (Standard Deviation Estimated Average) (SD_{EAR}) (Requirements) داده‌ها مشخص باشد، RDA طبق معادله (۳) عبارت است از:

$$RDA = EAR + 2 \times SD_{EAR} \quad (3)$$

اگر داده‌ها برای محاسبه انحراف معیار کافی نباشد، برای تخمین انحراف معیار معمولاً از ضریب تغییرات (Coefficient of Variation Estimated Average) (CV_{EAR}) (Requirements) ۱۰ درصد استفاده می‌شود (معادله ۴) (۱۵):

$$CV_{EAR} = SD_{EAR} / EAR \quad \text{or} \quad SD_{EAR} = (EAR \times CV_{EAR}) \quad (4)$$

بنابراین معادله RDA (که از لحاظ آماری ۹۷/۵ درصد از نیاز جمعیت مورد بررسی را پوشش می‌دهد) طبق معادله (۵) عبارت است از (۱۵):

$$RDA = EAR + 2 \times (0.1 \times EAR) \quad \text{or} \quad RDA = 12 \times EAR \quad (5)$$

با توجه به این که اهمیت مواد معدنی دریافتی توسط آب آشامیدنی می‌تواند برای هر عنصر متفاوت باشد، گروه متخصصان عامل وزنی متفاوتی را به هر عنصر تخصیص می‌دهند. در این پژوهش، فرایند وزندهی با استفاده از روش فنی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (Analytical Hierarchy Process) (AHP) (۵) بر اساس چهار معیار شامل مواد معدنی جذب شده آب آشامیدنی توسط گوارش، حد بالای مطلوب دریافت مواد معدنی از طریق آب آشامیدنی، ملاک تأثیرات بهداشتی در دریافت از راه آب آشامیدنی و اهمیت مقدار دریافت عمومی مواد معدنی از راه غذا و سطح مناسب آن انجام شد.

جدول ۱. مصرف آب آشامیدنی و میزان مجاز مربوط به رژیم غذایی توصیه شده (یا دریافتی مناسب) مواد مغذی معدنی در گروه‌های سنی - جنسیتی مختلف (۲)

جنسیت	سن	مصرف آب	میزان مجاز مربوط به رژیم غذایی توصیه شده (A _{ij}) (RDA) (mg/d)
		(V _j) (L)	F Ca Mg Na Mn Zn Cu
کودک	۱-۳	۰/۴۲۴	۰/۷ ۵۰۰ ۶۰ ۱۰۰۰ ۱/۲ ۴/۱ ۰/۳۴
	۴-۶	۰/۵۴۵	۱ ۶۰۰ ۷۶ ۱۲۰۰ ۱/۵ ۴/۸ ۰/۴۴
	۷-۹	۰/۶۰۷	۱ ۷۰۰ ۱۰۰ ۱۳۰۰ ۱/۶ ۵/۶ ۰/۷
مرد	۱۰-۱۸	۰/۹۰۷	۲/۵ ۱۳۰۰ ۲۳۰ ۱۵۰۰ ۲/۱ ۸/۶ ۰/۹
	۱۹-۵۰	۱/۵۷۶	۴ ۱۰۰۰ ۲۶۰ ۱۵۰۰ ۲/۳ ۷ ۰/۹
	۵۱-۶۵	۱/۵۶۸	۴ ۱۰۰۰ ۲۶۰ ۱۳۰۰ ۲/۳ ۷ ۰/۹
	+۶۵	۱/۵۱۸	۴ ۱۳۰۰ ۲۲۴ ۱۲۰۰ ۲/۳ ۷ ۰/۹
زن	۱۰-۱۸	۰/۹۰۷	۲/۵ ۱۳۰۰ ۲۲۰ ۱۵۰۰ ۱/۶ ۷/۲ ۰/۹
	۱۹-۵۰	۱/۳۸۶	۳ ۱۰۰۰ ۲۲۰ ۱۵۰۰ ۱/۸ ۴/۹ ۰/۹
	۵۱-۶۵	۱/۴۹۷	۳ ۱۳۰۰ ۲۲۰ ۱۳۰۰ ۱/۸ ۴/۹ ۰/۹
	+۶۵	۱/۴۰۲	۳ ۱۳۰۰ ۱۹۰ ۱۲۰۰ ۱/۸ ۴/۹ ۰/۹

خوب (۷۰-۷۹/۹)، مناسب (۶۰-۶۹/۹)، مرزی (۴۵-۵۹/۹) و نامرغوب (۰-۴۴/۹) تقسیم می‌شود.

تعیین کیفیت آب آشامیدنی (شاخص DWQI)

برای تعیین شاخص کیفیت آب آشامیدنی (DWQI) (Drinking Water Quality Index) از زیرشاخص‌های HWQI مربوط به سلامت انسان (Health-based Water Quality Index) و AWQI مربوط به مقبولیت (جنبه‌های زیبایی‌شناختی و قابل‌پذیرش بودن) برای مصرف‌کننده آب آشامیدنی (Acceptability Water Quality Index) استفاده شد و به روش CCME تعیین شدند (۱۰).

با کاربرد پارامترهای مقبولیت و سلامت در معادلات روش یادشده، به‌ترتیب زیرشاخص‌های AWQI و HWQI کیفیت آب محاسبه شد. مقدار عددی معادله DWQI برابر ۰-۴۴، نشانگر کیفیت نامرغوب آب و ۹۵-۱۰۰، بیانگر کیفیت عالی آب است. سایر رده‌بندی‌های توصیفی شامل خوب (۸۰-۹۴)،

بر اساس بیشینه سطح مجاز است که برای مس، فلوئور و منگنز به‌ترتیب ۲، ۱/۵ و ۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر است (استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۵۳، ۱۳۸۸). برای مواد مغذی که غلظت آن‌ها بیشتر از دو برابر SV_i باشد، مقدار SI_i صفر در نظر گرفته می‌شود.

درنهایت با استفاده از معادله (۹)، شاخص یکپارچه DWNQI (شامل زیرشاخص‌ها و عوامل وزنی عناصر غذایی) تعیین می‌شود:

$$DWNQI = \left(\sum_{i=1}^m w_i \times SI_i^\beta \right) / \left(\sum_{i=1}^m w_i \right)^{(1/\beta)} \quad (9)$$

که در آن، w_i عامل وزنی آمین عنصر غذایی و β ثابت DWNQI است. در معادله DWNQI، ثابت β تعریف شده است تا منعکس‌کننده تأثیرات تفاوت سطوح SI_i در DWNQI باشد. در این حالت با استفاده از روش سعی و خطا، ثابت β معادل ۰/۹ تعیین شده است (۲).

DWNQI غلظت‌های مواد معدنی آب آشامیدنی را به یک امتیاز عددی در محدوده بین صفر (بدترین کیفیت تغذیه‌ای آب) تا ۱۰۰ (بهترین کیفیت تغذیه‌ای آب) تبدیل می‌کند و مشخصات کیفی تغذیه‌ای آب آشامیدنی به پنج دسته عالی (۸۰-۱۰۰)،

مناسب (۶۵-۷۹) و مرزی (۴۵-۶۴) است.

در شاخص DWNQI فرض می‌شود که پارامترهای کیفیت آب می‌تواند ارزش غذایی داشته باشد؛ ولی در روش DWQI صرفاً پارامترهای کیفی آب را منفی در نظر می‌گیرد و می‌خواهد بداند که این پارامترها، چقدر کیفیت آب را تخریب می‌کند؛ اما روش DWNQI می‌گوید که این پارامترهای کیفیت آب می‌تواند تأثیر مثبت هم داشته باشد. شکل ۱ به‌طورکلی این دو روش را مقایسه می‌کند.

واکاوی آماری

در این پژوهش از پارامترهای آماری شامل ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (Normalized Root Mean Square Error) و شاخص توافق ویلموت (Willmott's index of agreement) استفاده شد. این پارامترهای آماری به‌صورت معادله (۱۰) محاسبه شد.

$$NRMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n \times O_m^2} \right]^{0.5} \quad (10)$$

که در آن NRMSE ریشه میانگین مربعات خطای نرمال، i شماره مشاهده یا پیش‌بینی، P مقدار پیش‌بینی‌شده، O مقدار اندازه‌گیری‌شده، n تعداد مشاهدات و O_m میانگین مشاهدات است.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O_m| + |O_i - O_m|)^2} \quad (11)$$

در این روابط d شاخص توافق ویلموت است. هرچه مقدار NRMSE و CRM به عدد صفر و مقدار d به عدد یک نزدیک‌تر باشد، داده‌های اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده به هم نزدیک‌ترند. مقادیر NRMSE کمتر از ده درصد عالی، ده تا بیست درصد خوب، بیست تا سی درصد قابل قبول و بیشتر از سی درصد غیرقابل قبول است (۱۶).

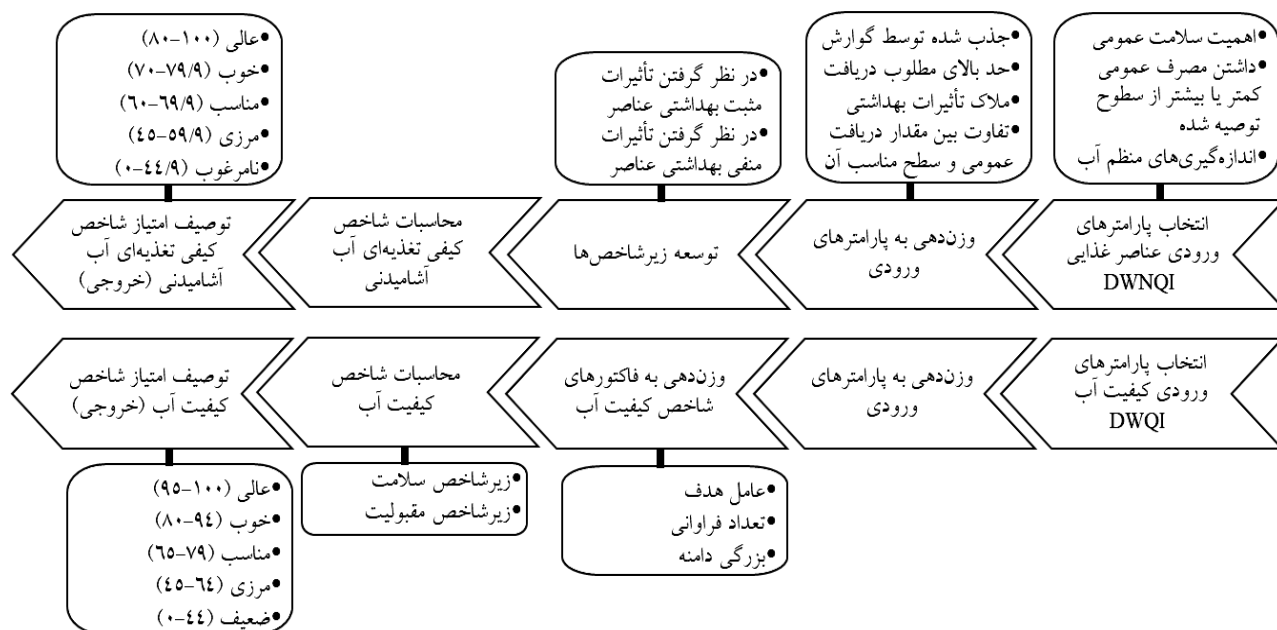
نتایج و بحث

شاخص کیفی تغذیه‌ای آب آشامیدنی (DWNQI)

مقادیر مشارکت آب آشامیدنی در تأمین مواد معدنی مغذی برای

جمعیت شهر شیراز (F_i) در آبخوان‌های مختلف نشان داد که میانگین درصد مشارکت آب آشامیدنی در تأمین فلوراید، کلسیم، منیزیم، سدیم، منگنز، روی و مس در شهر شیراز به‌ترتیب ۲۲/۵، ۱۳/۲، ۳۱/۳، ۴/۰، ۰/۱۲، ۰/۸ و ۲/۶ درصد است (جدول ۲). به‌طورکلی مقادیر F_i در آبخوان‌های نیمه جنوبی شهر شیراز (حسین‌آباد و نصرآباد، هفت‌تن و سعدی، آبرفت مرکز، آبرفت جنوب و سبزپوشان) همواره از میانگین شهر شیراز بیشتر بوده و بیشینه مقادیر در آن قرار دارد و در آبخوان‌های شمالی (باباکوهی، دراک، دوکوهک و صدرا) برعکس است. تنها استثنا مس است که در آبخوان جنوبی (سبزپوشان) کمینه است. نتایج پژوهش پاترسون و همکاران (۲۲) نشان داد که میانگین سهم آب آشامیدنی ایالات متحده آمریکا در درصد RDAs مواد معدنی برای کلسیم، منیزیم، سدیم، مس، روی و منگنز به‌ترتیب ۳، ۲/۴، ۲/۵، ۱۱/۱، ۰/۶ و بسیار کم است که به‌مراتب از مقادیر متناظر در شهر شیراز کمتر است. نتایج مطالعه ابطحی و همکاران (۲) نشان داد که سهم مشارکت آب آشامیدنی در تأمین فلوراید، کلسیم، منیزیم، سدیم، منگنز، روی و مس در استان فارس به‌ترتیب ۲۳/۵، ۱۰/۵، ۲۴/۴، ۴/۹، ۰/۳، ۲/۸ و ۱۶/۰ درصد است که مقادیر کلسیم، روی و مس در استان فارس اختلاف زیادی با شهر شیراز دارد؛ زیرا در مطالعه ابطحی و همکاران (۲) کل استان به‌صورت میانگین بررسی شده است؛ ولی نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تحلیل و محاسبه DWNQI باید به‌صورت جزئی و برای هر آبخوان جداگانه صورت گیرد.

میانگین رتبه‌بندی SI_i در شهر شیراز برای سدیم، منیزیم، کلسیم، فلوراید، مس، روی و منگنز به‌ترتیب ۹۵/۳۳، ۹۹/۳۳، ۱۰۰، ۸۱/۸۷، ۱۱/۳۴، ۴/۳۳ و ۲/۳۷ درصد است (جدول ۳). در همه آبخوان‌ها به‌جز آبخوان‌های دراک، دوکوهک و صدرا منیزیم و کلسیم SI_i صد درصد است. کمینه و بیشینه رتبه‌بندی SI_i به‌ترتیب در آبخوان‌های نیمه شمالی (به‌جز مس) و نیمه جنوبی شهر شیراز قرار دارند. متوسط SI_i منیزیم، کلسیم و فلوراید در شهر شیراز سطح عالی قرار دارد. در مقابل روی، مس و منگنز SI_i بسیار کمتر هستند؛ زیرا غلظت آن‌ها در آب آشامیدنی اندک است (جدول ۲).



شکل ۱. مقایسه روش های رتبه بندی شاخص های کیفیت آب (DWNQI و DWQI)

جدول ۲. مشارکت آب آشامیدنی در تأمین مواد معدنی مغذی در شهر شیراز (Fi)

آبخوان	Fi (%)						
	مس (Cu)	روی (Zn)	منگنز (Mn)	سدیم (Na ⁺)	منیزیم (Mg ²⁺)	کلسیم (Ca ²⁺)	فلوراید (F ⁻)
دراک	۲/۵۸	۰/۸۷	۰/۱۳	۱/۱۲	۱۹/۸۲	۸/۷۲	۱۵/۲۹
صدرا	۲/۳۳	۰/۶۵	۰/۱۲	۱/۷۸	۱۶/۲۱	۶/۴۴	۱۶/۳۵
دوکوهک	۲/۱۶	۰/۶۳	۰/۱۰	۱/۲۵	۱۵/۶۲	۸/۰۷	۱۲/۸۶
باباکوهی	۲/۹۰	۰/۹۲	۰/۱۴	۴/۶۱	۲۹/۴۲	۱۲/۴۶	۲۳/۰۹
سبزپوشان	۲/۰۲	۰/۶۶	۰/۱۳	۴/۴۱	۳۰/۴۸	۱۳/۴۶	۳۷/۲۱
حسین آباد و نصرآباد	۳/۷۴	۱/۰۰	۰/۱۳	۵/۲۴	۳۷/۷۴	۱۳/۶۹	۲۴/۴۸
آبرفت مرکز	۲/۳۴	۰/۷۶	۰/۱۳	۴/۴۱	۴۱/۴۵	۱۸/۶۶	۱۹/۸۸
آبرفت جنوب	۲/۴۱	۰/۸۱	۰/۱۴	۷/۰۷	۵۰/۶۷	۲۳/۴۸	۲۸/۴۸
هفت تن و سعدی	۳/۲۱	۰/۹۱	۰/۱۱	۶/۰۸	۴۰/۰۵	۱۳/۵۱	۲۴/۷۳
میانگین	۲/۶۳	۰/۸۰	۰/۱۲	۴/۰۰	۳۱/۲۷	۱۳/۱۷	۲۲/۴۹
انحراف معیار	۱/۹۳	۰/۳۰	۰/۰۳	۲/۱۶	۱۲/۱۷	۵/۲۱	۷/۹۳
کمینه	۲/۰۲	۰/۶۳	۰/۱۰	۱/۱۲	۱۵/۶۲	۶/۴۴	۱۲/۸۶
بیشینه	۳/۷۴	۱/۰۰	۰/۱۴	۷/۰۷	۵۰/۶۷	۲۳/۴۸	۳۷/۲۱

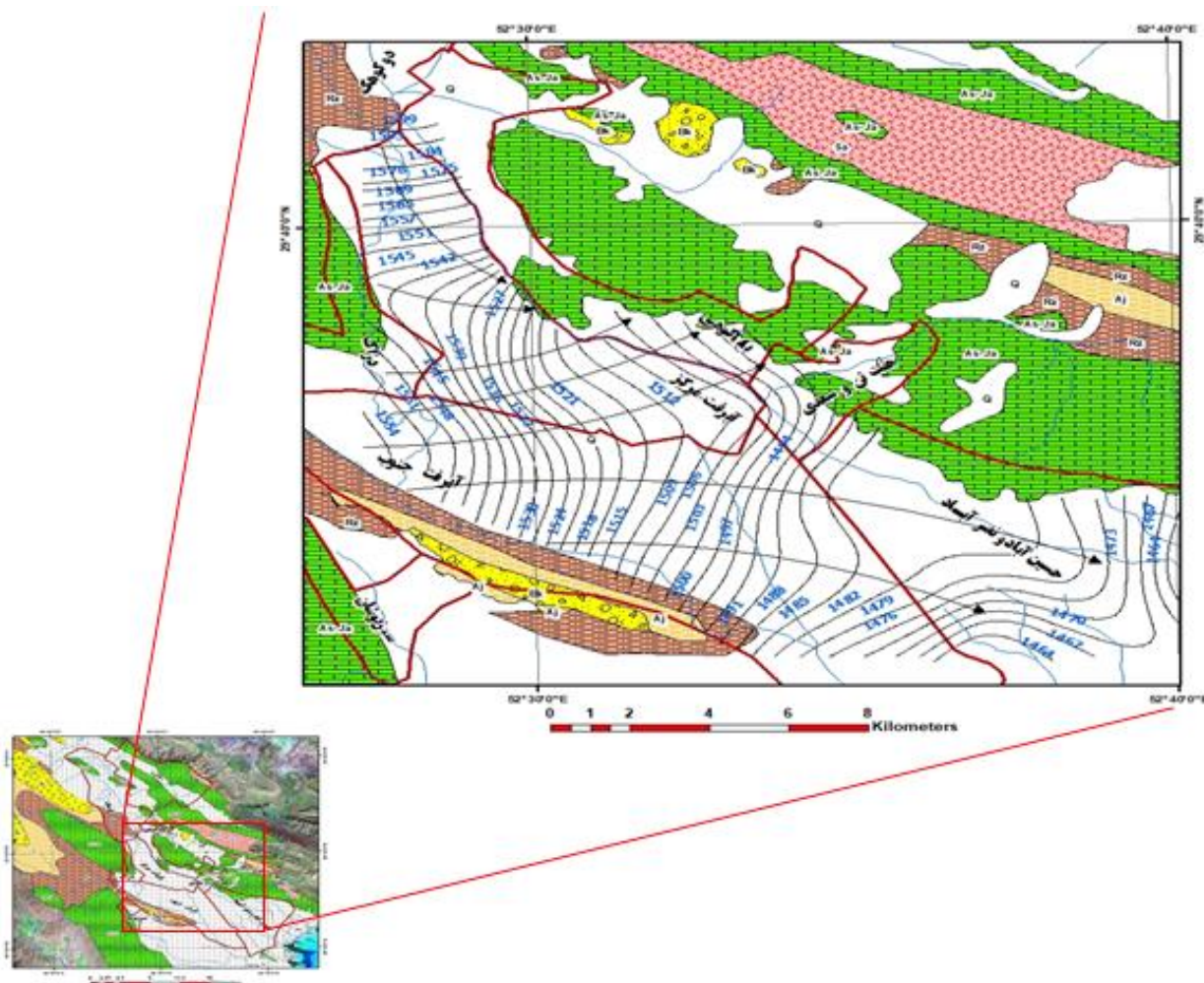
جدول ۳. زیرشاخص مواد معدنی ورودی آب آشامیدنی شهر شیراز (SI_i)

آبخوان	مس (Cu)	روی (Zn)	منگنز (Mn)	سدیم (Na ⁺)	منیزیم (Mg ²⁺)	کلسیم (Ca ²⁺)	فلوراید (F ⁻)
دراک	۱۱/۱۷	۴/۶۹	۲/۴۴	۱۰۰/۰۰	۹۹/۹۰	۹۳/۲۰	۶۸/۵۳
صدرا	۱۰/۱۲	۳/۵۶	۲/۲۵	۱۰۰/۰۰	۹۷/۶۰	۷۵/۵۹	۷۱/۵۰
دوکوهک	۹/۳۶	۳/۴۳	۱/۸۹	۱۰۰/۰۰	۹۶/۴۵	۸۹/۱۷	۶۰/۸۹
باباکوهی	۱۲/۵۱	۴/۹۵	۲/۶۳	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۶/۷۶
سبزپوشان	۸/۷۸	۳/۶۰	۲/۴۳	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۹۹/۰۰
حسین‌آباد و نصرآباد	۱۵/۷۱	۵/۳۶	۲/۴۲	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۸/۵۵
آبرفت مرکز	۱۰/۱۱	۴/۱۱	۲/۵۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۹/۸۴
آبرفت جنوب	۱۰/۴۲	۴/۳۷	۲/۵۹	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۹۲/۹۵
هفت‌تن و سعدی	۱۳/۸۴	۴/۹۵	۲/۱۵	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۸/۸۳
میانگین	۱۱/۳۴	۴/۳۳	۲/۳۷	۱۰۰/۰۰	۹۹/۳۳	۹۵/۳۳	۸۱/۸۷
انحراف معیار	۷/۶۸	۱/۵۷	۰/۶۴	۰	۱/۴۸	۸/۲۲	۱۳/۶۲
کمینه	۸/۷۸	۳/۴۳	۱/۸۹	۱۰۰/۰۰	۹۶/۴۵	۷۵/۵۹	۶۰/۸۹
بیشینه	۱۵/۷۱	۵/۳۶	۲/۶۳	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۹۹/۰۰

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه

از لحاظ زمین‌ساختی این منطقه در زون چین‌خورده زاگرس واقع شده است. این زون یکی از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی در ایران و خاورمیانه است. قرارگیری توالی از سنگ‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر در این زون باعث شکل‌گیری ذخایر هیدروکربوری و آبخوان‌های مهم شده است. از لحاظ چینه‌شناسی محدوده مورد مطالعه از سازندهای بختیاری (با سنگ‌شناسی کنگلومرای توده‌ای تا لایه‌بندی خوب)، آغاچاری (با سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ قرمز با میان‌لایه‌های مارن سیلتی و مارن)، رازک (با سنگ‌شناسی مارن‌های قرمز و سبزرنگ و ژپس)، آسماری - جهرم (با سنگ‌شناسی آهک‌های ضخیم لایه و دولومیت) و سازند سچون (مارن‌های ژپسی قرمز رنگ همراه با لایه‌های ژپس و گچ) در شکل ساختاری تاق‌دیس و ناودیس تشکیل شده است. آبرفت منطقه نیز از قطعات همین مجموعه سازندها ساخته شده‌اند (شکل ۲).

به‌طور کلی شاخص کیفی تغذیه‌ای آب آشامیدنی شهر شیراز $5/47 \pm 77/52$ است که در سطح خوب قرار دارد. کمینه و بیشینه DWNQI در شهر شیراز به ترتیب در آبخوان صدرا (۶۹/۳) مناسب و سبزپوشان (۸۳/۲۳) عالی بود که نشانگر کمترین و بیشترین کیفیت تغذیه‌ای آبخوان‌های آب آشامیدنی شهر شیراز است. DWNQI دراک (۷۳/۵۷) خوب، دوکوهک (۶۹/۳۵) و صدرا مناسب و شش آبخوان دیگر عالی است. DWNQI نیمه شمالی و نیمه جنوبی شهر شیراز به ترتیب ۷۳/۱۳ (خوب) و ۸۱/۰۳ (عالی) است که کاهش از جنوب به شمال هماهنگ با پژوهش انجام‌شده در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ است (۱۹). البته شهرستان‌های (شمال شهرستان شیراز) مرودشت، سپیدان و ممسنی به ترتیب دارای DWNQI مناسب، مرزی و مناسب و سایر شهرستان‌های مجاور شهرستان شیراز (ارسنجان، خرامه، سروستان، کوار، فیروزآباد و کازرون) دارای DWNQI خوب هستند (۱۹).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی همراه با محل آبخوان‌ها و خطوط تراز سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

آسماری - جهرم، آبخوان‌های سبزپوشان، حسین‌آباد و نصرآباد، هفت‌تن و سعدی، و باباکوهی مجاور سازند آسماری - جهرم هستند؛ بنابراین سازندهایی که مجاور لایه‌های کارستی هستند، دارای مواد مغذی بیشتری نسبت به سایر سازندها هستند. از طرف دیگر بر اساس خطوط تراز آب‌های زیرزمینی در دشت شیراز، جهت کلی جریان آب زیرزمینی از شمال غرب به سمت جنوب شرق است و در نتیجه طی مسافت بیشتر آب‌های زیرزمینی از میان لایه‌های آبرفتی و آهکی (شامل مواد انحلال‌پذیر مانند گچ و آهک)، افزایش املاح (مواد مغذی) بیشتری در آبخوان‌های جنوب شرقی (آبخوان‌های حسین‌آباد و نصرآباد، هفت‌تن و سعدی، باباکوهی، آبرفت مرکز) رخ داده است و به همین دلیل شاخص DWNQI بهتر شده است. علاوه بر این هرچه

بدون شک یکی از مؤثرترین عوامل بر میزان املاح در آب‌های زیرزمینی، عامل زمین‌شناسی (نوع سنگ‌ها، آبرفت و شکستگی‌ها) است. آبخوان سازندهای کارستی (سازند آسماری - جهرم) در محدوده مطالعه از لحاظ حجم، میزان آبدهی و کیفیت مناسب و در تأمین آب شرب شهر شیراز و شهرک‌ها و روستاها بسیار دارای اهمیت هستند. جدول ۴ ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی سازندهای رخنمون‌یافته و تأثیرگذاری آن‌ها بر کیفیت منابع آب را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. طبق این شکل، سازندهای کربناته (آسماری - جهرم) کمترین و سازند رازک و سچون بیشترین تأثیرگذاری بر تخریب کیفیت منابع آب را دارند.

آبخوان دوکوهک مجاور سازندهای بختیاری، آغاچاری و رازک، آبخوان دراک مجاور سازندهای رازک و

جدول ۴. تفکیک هیدروژئولوژیکی سازندهای موجود در منطقه مورد مطالعه

واحد هیدروژئولوژی	سازند	تأثیرگذاری بر تخریب کیفیت منابع آب
کربناته	آسماری - جهرم	کم
غیرکربناته	بخش‌هایی از رازک، سچون	زیاد
سنگ‌های آهکی با درز و شکاف زیاد تا متوسط، ضخامت و گسترش منطقه‌ای زیاد (کارست) بالغ)	بختیاری، رازک، آغاچاری	متوسط
آواری‌ها (کنگلوмера، ماسه‌سنگ، مارن)	بخش‌هایی از رازک، سچون	زیاد
تبخیری		

به سمت جنوب شرق (دریچه مهارلو) برویم، عمق سطح ایستابی کاهش یافته و در مواردی به حدود یک متر هم می‌رسد. بنابراین ترکیبی از نوع سازند، جریان آب زیرزمینی، مدت‌زمان تماس آب با سازند و عمق سطح ایستابی تبیین‌کننده مواد مغذی موجود در آب‌های زیرزمینی و در نتیجه شاخص DWNQI است.

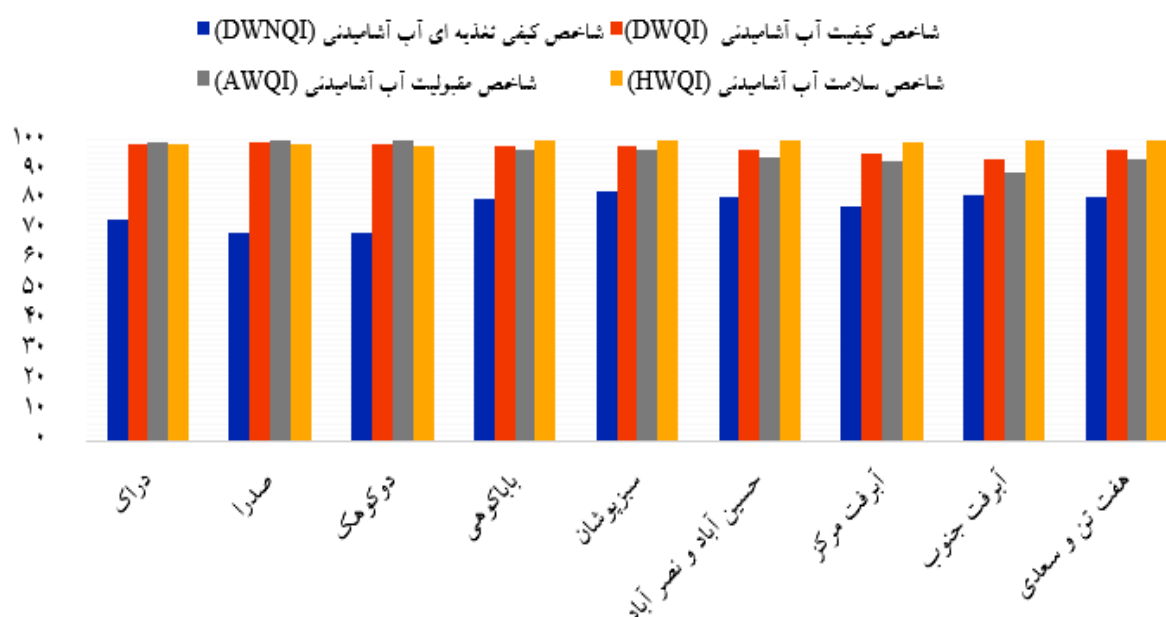
مقایسه شاخص‌های کیفیت آب (AWQI، DWNQI،

HWQI و DWQI)

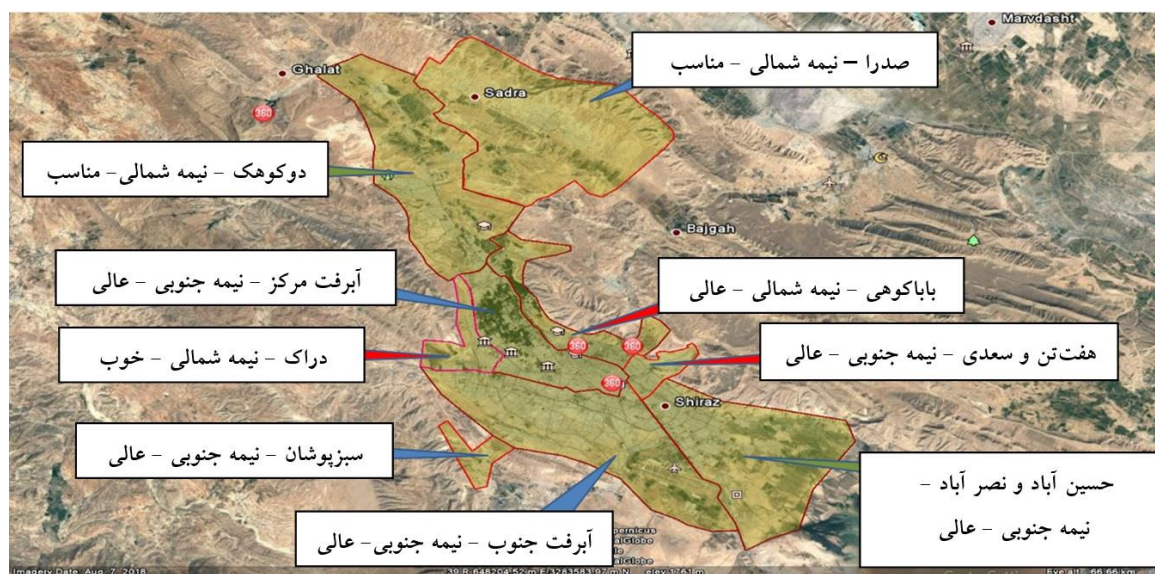
روند تغییرات شاخص‌های کیفیت آب (AWQI، DWNQI، HWQI و DWQI) در سال‌های مختلف و در آبخوان‌های مختلف نشان می‌دهد که تغییرات این پارامترها در سال‌های مختلف اندک بوده و به‌جز آبخوان آبرفت جنوب (که DWQI و AWQI خوب بوده است)، نتایج رتبه‌بندی بقیه آبخوان‌ها در AWQI، HWQI و DWQI عالی هستند.

مقایسه تغییرات شاخص‌های AWQI، DWQI، HWQI و DWNQI (شکل ۳) در آبخوان‌های شهر شیراز نشان می‌دهد که ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) در هر سه شاخص AWQI، DWQI و HWQI در بازه ۲۵ تا ۳۰ درصد قرار دارد که قابل قبول است. شاخص توافق ویلموت (d) برای هر سه شاخص AWQI، DWQI و HWQI غیرقابل قبول است، ولی بهترین مقدار آن مربوط به HWQI است (۰/۲۹)؛ بنابراین، با وجود اینکه HWQI مناسب‌ترین ارتباط را با DWNQI دارد، اما این ارتباط از نظر آماری ضعیف است. شاید همین ارتباط اندک ناشی از ارتباط بین تغذیه و سلامت باشد. بیشترین تشابه بین روند تغییرات DWNQI با HWQI و همچنین DWQI با

AWQI بوده است (شکل ۴). به عبارت دیگر با کاهش ارزش تغذیه‌ای آب آشامیدنی، شاخص سلامت هم کاهش یافته است. در پژوهشی مروری که به بررسی مزایای بالقوه تندرستی و سلامتی آب‌های معدنی طبیعی غنی از کلسیم پرداخته شده است، بر اهمیت تأثیر آن در راستای ارتقای سلامت استخوان‌ها، حفظ عملکرد قلبی عروقی، کمک به مدیریت وزن و افزایش رفاه کلی تأکید شد (۲۴). در پژوهشی در روستاهای استان خوزستان در سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳، DWQI بین ۶۹ تا ۹۰ درصد به ترتیب برای روستاهای شهرستان ایذه و شادگان متغیر بود (۱). نتایج پژوهش انجام‌شده در روستاهای شهرستان یزد در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۴ نشان داد که ۶۴ درصد روستاها کیفیت خوب و کمترین و بیشترین درصد شاخص به ترتیب در روستاهای اکرم آباد (۶۷/۴۸) و شهنه (۹۲/۳۴) بود (۲۱). در آبخوان‌های شهر شیراز مقدار DWQI بین ۹۳ تا ۹۸ است که در مقایسه با مطالعات یادشده از وضعیت مناسبی برخوردار است. اولین پژوهش در کاربرد DWNQI در قاره آفریقا در مناطق نیمه‌شهری جنوب شرقی نیجریه بود که DWNQI از ۹/۷۶ تا ۷۸/۵۴ با میانگین ۳۲/۰۲ متغیر بود. ۷۳/۳۳ درصد از نمونه‌ها در دسته نامرغوب قرار گرفتند که نشان‌دهنده غلبه کیفیت تغذیه‌ای پایین در منابع آب بود (۴)؛ بنابراین با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده در ایران و در نظر داشتن وضعیت خوب شاخص DWNQI و وضعیت عالی شاخص‌های AWQI، HWQI و DWQI در شهر شیراز، مدیریت و برنامه‌ریزی برای حفظ و افزایش مطلوبیت در آینده ضروری است.



شکل ۳. مقایسه شاخص‌های DWQI، DWNQI، HWQI، AWQI در آبخوان‌های شهر شیراز



شکل ۴. طبقه‌بندی DWNQI آبخوان‌های شهر شیراز

در همین راستا در پژوهشی اثر محتمل تغییرات اقلیم بر پارامترهای هواشناسی شهر شیراز با در نظر گرفتن دوره پایه ۱۹۸۶-۲۰۰۵ برای پیش‌بینی دوره‌های ۲۰۲۶-۲۰۴۵ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نشان‌دهنده افزایش دمای کمینه $0/3-0/9$ و $0/7-1/7$ درجه سلسیوس، افزایش دمای بیشینه $0/4-1/1$ و $0/9-1/8$ درجه سلسیوس، کاهش بارش (به ترتیب ۷-۱۶ و ۱۶-۳۵ درصد) و افزایش میزان تابش خورشیدی $0/3-0/8$ و $0/8-1/3$ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز است (۲۵). نتایج یک پژوهش دیگر نشان داد که دما تأثیر مثبت و بارندگی تأثیر منفی بر مصرف آب می‌گذارد (۱۸). با توجه به اینکه تغییر اقلیم باعث گرما و افزایش مصرف آب می‌شود؛ بنابراین، احتمالاً غلظت عناصر افزایش می‌یابد و متناسب با مقدار کاهش منابع و

در همین راستا در پژوهشی اثر محتمل تغییرات اقلیم بر پارامترهای هواشناسی شهر شیراز با در نظر گرفتن دوره پایه ۱۹۸۶-۲۰۰۵ برای پیش‌بینی دوره‌های ۲۰۲۶-۲۰۴۵ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نشان‌دهنده افزایش دمای کمینه $0/3-0/9$ و $0/7-1/7$ درجه سلسیوس، افزایش دمای بیشینه $0/4-1/1$ و $0/9-1/8$ درجه سلسیوس، کاهش بارش (به ترتیب ۷-۱۶ و ۱۶-۳۵ درصد) و افزایش میزان تابش خورشیدی $0/3-0/8$ و $0/8-1/3$ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز است (۲۵). نتایج یک پژوهش دیگر نشان داد که دما تأثیر مثبت و بارندگی تأثیر منفی بر مصرف آب می‌گذارد (۱۸). با توجه به اینکه تغییر اقلیم باعث گرما و افزایش مصرف آب می‌شود؛ بنابراین، احتمالاً غلظت عناصر افزایش می‌یابد و متناسب با مقدار کاهش منابع و

افزایش غلظت آب، شرایط تغییر می‌کند و باید مرتب این تحلیل‌ها انجام شود.

نتیجه‌گیری

منیزیم، فلوراید و کلسیم به ترتیب بیشترین نقش را در مشارکت آب آشامیدنی شهر شیراز در دریافت مواد معدنی مربوط به رژیم غذایی ایفا می‌کنند. میانگین شاخص DWNQI شهر شیراز با مقدار $5/47 \pm 77/52$ در رتبه‌بندی خوب قرار دارد و بیشترین و کمترین رتبه‌بندی DWNQI مربوط به آبخوان سبزپوشان (عالی) و صدرا (مناسب) است.

رتبه‌بندی شاخص‌های متداول کیفیت آب (AWQI، HWQI و DWQI) با شاخص DWNQI منطبق نیستند که به دلیل لحاظ کردن ارزش تغذیه‌ای آب در شاخص DWNQI است. ترکیبی از نوع سازند، جریان آب زیرزمینی، مدت زمان تماس آب با سازند و عمق سطح ایستابی تبیین‌کننده مواد مغذی موجود در آب‌های زیرزمینی و در نتیجه شاخص DWNQI

هستند. به‌طور کلی روند شاخص‌های AWQI، HWQI، DWQI و DWNQI در بازه سیزده‌ساله شهر شیراز نشان می‌دهد که شاخص‌های معمول کیفیت آب آشامیدنی (AWQI، HWQI و DWQI) تصویر دقیقی از ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی در بسیاری از موارد ارائه نمی‌دهد؛ زیرا نقش تغذیه‌ای آب را در نظر نمی‌گیرند و به همین دلیل گاهی اوقات آب بیشتر از نیاز تصفیه می‌شود؛ از این رو تجدید نظر در تفسیر کیفیت آب آشامیدنی در استفاده از دیدگاه ارزش تغذیه‌ای آب آشامیدنی (DWNQI) برای داشتن تصویری جامع از کیفیت آب آشامیدنی ضروری است.

سپاسگزاری

نویسندگان تشکر ویژه خود را از همکاری شرکت آب و فاضلاب شهر شیراز و سازمان آب منطقه‌ای استان فارس به‌خاطر در اختیار قراردادن داده‌های کیفیت آب آشامیدنی اعلام می‌دارند.

References

منابع مورد استفاده

1. Abtahi, M., N. Golchinpour, K. Yaghmaeian, M. Rafiee, M. Jahangiri-rad, A. Keyani and R. Saeedi. 2015. A modified drinking water quality index (DWQI) for assessing drinking source water quality in rural communities of Khuzestan Province, Iran. *Ecological Indicators* 53: 283-291.
2. Abtahi, M., K. Yaghmaeian, M. R. Mohebbi, A. Koulivand, M. Rafiee, M. Jahangiri-rad and S. Okaie. 2016. An innovative drinking water nutritional quality index (DWNQI) for assessing drinking water contribution to intakes of dietary elements: A national and sub-national study in Iran. *Ecological Indicators* 60: 367-376.
3. Abtahi, M., M. Alimohammadi, R. Saeedi, R. Nabizadeh, M. Askari, B. Mahmoudi and M. Ghani. 2021. Evaluation of chemical and microbial quality of bottled water in Iran and calculation of water quality index. *Iranian Journal of Health and Environment* 14(2): 225-246 (in Farsi).
4. Agbasi, J. C., J. C. Egbueri, A. A. Alghamdi, V. Ahmad, S. Al-Thawadi, M. Y. A. Khan, S. I. Abba and V. C. Eze. 2024. Analytical Examination of the Nutritional Status of Drinking Water Resources: A First Case Application in Africa. *Analytical Letters* 57(1): 1-17.
5. Akhtar, N., M. I. S. Ishak, M. I. Ahmad, K. Umar, M. S. Md Yusuff, M. T. Anees, A. Qadir and Y. K. Ali Almanasir. 2021. Modification of the water quality index (WQI) process for simple calculation using the multi-criteria decision making (MCDM) method: a review. *Water* 13(7): 905.
6. Asgari, G., E. Komijani, A. Seid-Mohammadi and M. Khazaei. 2021. Assessment the quality of bottled drinking water through Mamdani Fuzzy Water Quality Index. *Water Resources Management* 35(15): 5431-5452.
7. Askari, M., R. Saeedi, R. Nabizadeh, A. Zarei, M. Ghani, M. Ehsani, M. Alimohammadi and M. Abtahi. 2021. Assessing contribution of bottled water in nutrient absorption using the bottled water nutritional quality index (BWNQI) in Iran. *Scientific Reports* 11(1): 1-12.
8. Babaali, E., S. Rahmdel, E. Berizi, M. Akhlaghi, F. Götz and S. M. Mazloomi. 2020. Dietary intakes of zinc, copper, magnesium, calcium, phosphorus, and sodium by the general adult population aged 20-50 years in Shiraz, Iran: A total diet study approach. *Nutrients* 12(11): 3370.
9. Banda, T. D. and M. Kumarasamy. 2020. A review of the existing water quality indices (WQIS). *Pollution Research* 39(2): 489-514.

10. CCME, 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0 User's Manual. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
11. Damani, H., R. Jahanshahi, S. Bagheri and M. R. Mirbalouchzahi. 2024. The effective factors on the groundwater quality in the Saravan area, south Iran. *Irrigation and Water Engineering* 14(4): 199-221 (in Farsi).
12. Durov, S. A. 1948. Natural waters and graphic representation of their composition. *Doklady Akademii Nauk SSSR* 59: 87-90.
13. Eid, M. H., M. Awad, E. A. Mohamed, T. Nasser, M. R. Abukhdra and P. Szucs. 2024. Comprehensive approach integrating water quality index and toxic element analysis for environmental and health risk assessment enhanced by simulation techniques. *Environmental Geochemistry and Health* 46(10): 409.
14. Horton, R. K. 1965. An Index-Number System for Rating Water Quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 37(3): 300-306.
15. IOM (Institute of Medicine). 2005. Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate. The National Academies Press, Washington (D.C).
16. Jamienson, P. D., J. R. Porter and D. R. Wilson. 1991. A test of computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research* 27(4): 337-350.
17. Kord, M. 2020. Development of Hydrogeochem software for investigation of hydrogeochemical properties and water quality. *Hydrogeology* 5(2): 88-98 (in Farsi).
18. Moosavi, S. F., N. Salehnia, A. Seifi, A. AsgharpourMasouleh and N. Salehnia. 2023. Designing and calibrating an agent-based platform to evaluate the effect of climate variables on residential water demand. *Water and Environment Journal* 37(3): 604-615.
19. Motamedi, S. F. 2018. Quality assessment and minerals intake of drinking water in Fars Province using drinking water nutritional quality index (DWNQI). Master thesis, Shiraz University, Shiraz, I.R. Iran (in Farsi).
20. Nasreddine, L., O. Nashalian, F. Naja, L. Itani, D. Parent-Massin, M. Nabhani-Zeidan and N. Hwalla. 2010. Dietary exposure to essential and toxic trace elements from a total diet study in an adult Lebanese urban population. *Food and Chemical Toxicology* 48(5): 1262-1269.
21. Oroskhan, M., M. R. Massoudinejad, R. Saeedi, A. Mohagheghian and M. Abtahi. 2024. Zoning of drinking water quality in villages of Yazd County based on water quality indices. *Journal of Health in the Field* 12(2): 23-34 (in Farsi).
22. Patterson, K.Y., P.R. Pehrsson and C.R. Perry. 2013. The mineral content of tap water in United States households, *Journal of Food Composition and Analysis* 31(1): 46-50.
23. Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions of American Geophysical Union* 25(6): 914-924.
24. Pop, M.S., D.C. Cheregi, G. Onose, C. Munteanu, C. Popescu, M. Rotariu, M.A. Turnea, G. Dogaru, E.V. Ionescu, D. Oprea, M.G. Iliescu, M. Minea and C. Opera. 2023. Exploring the potential benefits of natural calcium-rich mineral waters for health and wellness: A systematic review. *Nutrients* 15(14): 3126.
25. Rahimi, N., M.A. Maddah and A.M. Akhoond-Ali. 2023. Forecasting the impact of climate change on the meteorological parameters using GCMs output with the help of artificial neural network (Case study: Shiraz synoptic station). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage* 16(6): 1157-1170 (in Farsi).
26. Rodriguez-Narvaez, O.M., J.M. Peralta-Hernandez, A. Goonetilleke and E.R. Bandala. 2017. Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. *Chemical Engineering Journal* 323: 361-380.
27. Schoeller, H. 1960. Salinity of groundwater, evapotranspiration and recharge of aquifers. IASH pulls, France.
28. Stiff Jr, H.A. Jr. 1951. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. *Journal of Petroleum Technology* 3(10):15-17.
29. USDHHS and USDA. 2015. 2015-2020 Dietary Guidelines for Americans (8th ed.). US Department of Health and Human Services and US Department of Agriculture press, Washington (D.C).