DOI: 10.48305/jhsr.v19i2.1492 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 19, No. 2, Summer

Received: 13.08.2022 Accepted: 04.12.2022 Published: 06.07.2023

Investigation and Mapping of Chemical Quality of Drinking and Agricultural Water Wells in Some Cities of Isfahan Province, Iran

Hamid Reza Rahmani[1], Zahra Khanmohammadi[1]

Original Article

Abstract

Background: In recent years, population growth, lack of rainfall, and increase in urban, industrial, and agricultural activities have caused more use of underground water resources. This will cause many problems for the economy, ecosystem, and human health. Considering the need to investigate and monitor the quality of groundwater, the present research was carried out with the aim of investigating the important chemical parameters of water wells in some cities of Isfahan Province, Iran.

Methods: To conduct this research, 181 well water samples were collected from Khansar, Daran, Tiran, Fereydunshahr, Najaf Abad, and Dehaghan cities in Isfahan Province. Then, electrical conductivity (EC), pH, and nitrate concentration were measured. Next, nitrate hazard quotient (HQ) (non-carcinogenic risk of nitrate) was calculated. ArcGIS software was used for mapping the measured features.

Findings: The amount of EC, pH, and nitrate varied from 191.4 to 7624 µS/cm, 6.49 to 8.20, and 1.9 to 99.2 mg/l, respectively. The lowest value of HQ (0.03) was calculated for the group of men and the highest value (3.68) was obtained for the group of children. The average value of HQ for men, women, and children was 0.61, 0.74, and 1.40, respectively.

Conclusion: All measured pH values were below the national standard of Iran (1053) and the Environmental Protection Organization of Iran. The studied areas had no limit in terms of nitrate concentration for using well water for agriculture. However, in 78.6% of the study areas where the amount of nitrate was in the range of 22.1-50 mg/l, there is a possibility of increasing nitrate concentration and making it unsuitable for drinking.

Keywords: Electrical conductivity; pH; Nitrates; Water wells; Iran

Citation: Rahmani HR, Khanmohammadi Z. **Investigation and Mapping of Chemical Quality of Drinking and Agricultural Water Wells in Some Cities of Isfahan Province, Iran.** J Health Syst Res 2023; 19(2): 103-10.

1- Assistant Professor, Department of Soil and Water Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center AND Agricultural Research, Education and Extension Organization, Isfahan, Iran

Corresponding Author: Zahra Khanmohammadi; Assistant Professor, Department of Soil and Water Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center AND Agricultural Research, Education and Extension Organization, Isfahan, Iran

Email: z.khanmohamadi@areeo.ac.ir

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

DOI: 10.48305/jhsr.v19i2.1492 Published by Vesnu Publications

بررسی و پهنه‌بندی کیفیت شیمیایی چاه‌های آب شرب و کشاورزی برخی از شهرستان‌های استان اصفهان

حمیدرضا رحمانی[1]، زهرا خان‌محمدی[1]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: در سال‌های اخیر، عواملی همچون رشد جمعیت، کمبود بارندگی و افزایش فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، سبب استفاده بیشتر از منابع آب‌های زیرزمینی شده است. این مسأله مشکلات زیادی را برای اقتصاد، اکوسیستم و سلامتی انسان به همراه خواهد داشت. با توجه به ضرورت بررسی و پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی، پژوهش حاضر با هدف بررسی شاخص‌های شیمیایی مهم چاه‌های آب در برخی از شهرستان‌های استان اصفهان به اجرا درآمد.

روش‌ها: برای انجام این مطالعه، ۱۸۱ نمونه آب چاه از شهرستان‌های خوانسار، داران، تیران، فریدون‌شهر، نجف‌آباد و دهاقان جمع‌آوری و مقادیر هدایت الکتریکی (EC یا Electrical conductivity)، pH و غلظت نیترات در آن اندازه‌گیری گردید. سپس ضریب خطر (Hazard quotient یا HQ) نیترات (خطر غیر سرطان‌زایی نیترات) محاسبه شد. برای تهیه نقشه‌های پراکنش ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، نرم‌افزار ArcGIS مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: مقدار EC از ۱۹۱/۴ تا ۷۶۲۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، pH از ۶/۴۹ تا ۸/۲ و غلظت نیترات از ۱/۹ تا ۹۹/۲ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود. کمترین مقدار شاخص HQ برای گروه مردان (۰/۰۳) و بیشترین مقدار آن برای گروه کودکان (۳/۶۸) گزارش شد. مقدار میانگین HQ برای گروه مردان، زنان و کودکان به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۷۴ و ۱/۴۰ به دست آمد.

نتیجه‌گیری: تمامی مقادیر اندازه‌گیری شده pH در محدوده استاندارد ملی ایران (۱۰۵۳) و سازمان حفاظت محیط زیست ایران بود. مناطق مورد بررسی محدودیتی از نظر غلظت نیترات برای استفاده از آب چاه‌ها جهت کشاورزی نداشتند؛ هرچند در ۷۸/۶ درصد از مناطقی که مقدار نیترات در محدوده ۵۰-۲۲/۱ میلی‌گرم در لیتر بود، احتمال افزایش مقدار نیترات و نامناسب شدن آن برای شرب وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: هدایت الکتریکی؛ pH؛ نیترات؛ چاه‌های آب؛ ایران

ارجاع: رحمانی حمیدرضا، خان‌محمدی زهرا. **بررسی و پهنه‌بندی کیفیت شیمیایی چاه‌های آب شرب و کشاورزی برخی از شهرستان‌های استان اصفهان.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۲؛ ۱۹ (۲): ۱۱۰-۱۰۳

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۵/۲۲ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۹/۱۳ تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۴/۱۵

مقدمه

آب به عنوان یک منبع تجدید شونده، همواره رکن اصلی توسعه بوده است. وجود برخی از املاح در آب برای سلامتی ضروری است؛ در حالی که مقادیر بیش از حد آن‌ها، سلامتی انسان را به خطر خواهد انداخت (۱). آب‌های زیرزمینی از ذخایر مهم آب در طبیعت به شمار می‌روند که از طریق حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، چشمه‌ها و قنات‌ها مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک مانند ایران، سهم بسیار زیادی در تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی دارند که این مسأله با توجه به کمبود آب و بحران خشکسالی در چند سال اخیر، اهمیت روزافزونی پیدا کرده است (۳، ۲). به دلیل واقع شدن کشورمان در منطقه خشک، کمبود نزولات آسمانی و عدم وجود رودخانه‌های پرآب و دایمی در اغلب نقاط کشور و محدود بودن منابع آب‌های سطحی، بخش چشمگیری از آب مصرفی در کاربری‌های گوناگون از سفره‌های آب زیرزمینی تأمین می‌شود. مدیریت منابع طبیعی، پایه و اساس توسعه پایدار جوامع بشری می‌باشد و در این میان، مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در کشورهای خشک و کم‌آب مانند ایران، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۴). بنابراین، پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی و جلوگیری از آلودگی این منابع بسیار ارزشمند، حیاتی و ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از ابتدایی‌ترین اقدامات به منظور جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، بررسی تغییرات مکانی کیفیت این آب‌ها است. شناسایی مناطقی که بار سنگین نیتروژن را از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای دریافت می‌کنند، برای برنامه‌ریزان منطقه‌ای و تصمیم‌گیران محیط زیستی مهم است (۵). به منظور دستیابی به این هدف، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS یا Geographic information system) به همراه فنون درون‌یابی و زمین‌آمار ابزارهای بسیار مناسبی هستند که علاوه بر بررسی‌های معمول آماری، امکان تحلیل‌های مکانی را برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی بهتر فراهم می‌کنند. با استفاده از روش‌های درون‌یابی، می‌توان با جمع‌آوری داده‌های کمتر، نقشه‌هایی با دقت بالاتر تهیه نمود؛ به طوری‌که با ایجاد نقشه‌های توزیع مکانی متغیرها با استفاده از روش‌های درون‌یابی، می‌توان به مدیریت صحیح و اصولی دست پیدا کرد (۶).

۱- استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

نویسنده مسؤول: زهرا خان‌محمدی؛ استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

Email: z.khanmohamadi@areeo.ac.ir

پژوهشگران مختلف تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه کاربرد روش‌های زمین‌آمار جهت بررسی آب‌های زیرزمینی انجام داده و به نتایج متنوعی دست یافته‌اند. به عنوان مثال، اسدزاده و همکاران در مطالعه‌ای تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب ۶۳ حلقه چاه دشت اردبیل را در دو فصل تر و خشک مورد ارزیابی قرار دادند. متوسط مقدار pH در فصل تر و خشک به ترتیب ۷/۵ و ۷/۳ بود که نشان دهنده شرایط خنثی تا اندکی قلیایی برای آب زیرزمینی می‌باشد. مقایسه نتایج با حدود استاندارد World Health Organization (WHO) نشان داد که نمونه‌های آب در محدوده استاندارد قرار گرفته‌اند. همچنین، مقدار میانگین کل مواد جامد محلول (Total dissolved solids یا TDS) در فصل تر و خشک به ترتیب ۱۰۰۵ و ۹۹۶/۶ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد که در محدود استاندارد مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران قرار داشت. نتایج مربوط به هدایت الکتریکی (Electrical conductivity یا EC) نیز حاکی از آن بود که متوسط مقدار EC در فصل تر و خشک به ترتیب ۱۴۰۵/۷ و ۱۵۲۶/۶ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد که کمتر از استاندارد مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و هماهنگ با نتایج TDS بود (۷).

در تحقیق دیگری، کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت برازجان با اندازه‌گیری غلظت یون‌های منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات، سولفات، کلر و نیترات در ۲۱ نمونه آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که آب‌های زیرزمینی دشت برازجان به خصوص در قسمت‌های شمالی و شرقی دشت، به علت همجواری با رودخانه دالکی، دارای شوری زیادی می‌باشد (۸). پژوهش دیگری به بررسی تغییرات مکانی نیترات و فسفات آب‌های زیرزمینی و شناسایی مهم‌ترین عوامل آلودگی از طریق ارزیابی روش‌های سری کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون چندگانه در حوزه آبخیز قره‌سو- استان گلستان پرداخت. بررسی نقشه تغییرات نیترات در منطقه و مقایسه آن با استانداردهای ملی و بین‌المللی، حاکی از بالا بودن غلظت نیترات در شهر گرگان بود. بر اساس نتایج مدل‌سازی با رگرسیون چندگانه خطی، بیشتر شاخص‌های مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر آلودگی نیترات در منطقه مورد نظر داشتند (۹). Chen و همکاران در مطالعه خود، آلودگی نیترات ۸۶ نمونه آب چاه (به عنوان منبع اصلی آب آشامیدنی) و خطرات مرتبط با سلامتی در جوامع روستایی منطقه کشاورزی نینگشیا در شمال غرب چین را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که غلظت نیتروژن نیتراتی در آب‌های زیرزمینی از ۰/۴۹ تا ۶۲/۲ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۱۲/۹۲ ± ۱۲/۱۵ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود. همچنین، در ۴۰/۷ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی، غلظت نیترات از حد مجاز توصیه شده WHO و استانداردهای آب آشامیدنی چین فراتر بود و در نتیجه، برای مصارف آشامیدنی مناسب نبود (۱۰). آن‌ها دلایل افزایش مقدار NO_3-N موجود در منطقه را افزایش نرخ مصرف کود، آبیاری شدید، عمق کم آب زیرزمینی، نفوذپذیری بالای خاک و تأسیسات بهداشتی و زیرساخت‌های ضعیف بیان نمودند. علاوه بر این، خطر غیر سرطان‌زایی نیترات ناشی از نوشیدن آب‌های زیرزمینی آلوده در منطقه با استفاده از روش ارزیابی خطر سلامت انسان توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (United States Environmental Protection Agency یا USEPA) برآورد گردید. بر اساس نتایج، ۸ و ۴ نمونه با غلظت نیترات بالا به ترتیب به حوزه‌های شاخص خطر کمتر از ۱ برای نوزادان و بزرگسالان تعلق داشتند که نشان دهنده خطر زیاد نوشیدن آب برای سلامتی در مکان‌های نمونه‌برداری بود (۱۰).

با توجه به استفاده از آب‌های زیرزمینی در کشاورزی و شرب استان و کمبود تحقیقات مدون در این زمینه در استان، پژوهش حاضر با هدف بررسی EC، pH و غلظت نیترات در چاه‌های آب شرب و کشاورزی برخی از شهرستان‌های استان اصفهان انجام شد.

روش‌ها

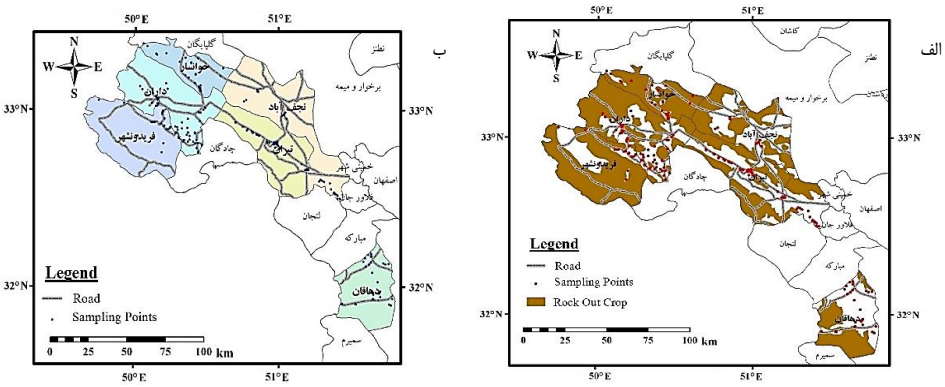
استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۲۷ کیلومتر مربع در مرکز ایران و در ناحیه خشک و نیمه خشک قرار دارد. منطقه مورد بررسی در این مطالعه شامل شهرهای نجف‌آباد، داران، فریدون‌شهر، دهاقان، تیران و خوانسار بود. پس از مشخص نمودن مناطق، به منظور بررسی چگونگی توزیع آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی در سال ۱۳۹۷، چاه‌های مورد نظر انتخاب و مشخص شدند. تعداد حلقه چاه‌های نمونه‌برداری شده در هر منطقه در جدول ۱ و موقعیت آن‌ها در شکل ۱، قسمت الف نشان داده شده است. در مجموع، ۱۸۱ حلقه چاه مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. پراکنش نقاط نمونه‌برداری در شهرستان‌های مورد نظر متأثر از رخنمون سنگی مناطق بود (شکل ۱، قسمت ب).

جدول ۱. مناطق انتخابی و تعداد چاه‌های نمونه‌برداری شده در مناطق مورد بررسی

شماره منطقه	شهرستان	تعداد چاه (حلقه)
۱	نجف‌آباد	۲۷
۲	تیران	۲۷
۳	دهاقان	۳۱
٤	داران	٤٠
٥	فریدون‌شهر	۲۷
٦	خوانسار	۲۹

موقعیت چاه‌ها به طور کامل یادداشت و طول و عرض جغرافیایی منطقه آن‌ها توسط دستگاه Global Positioning System (GPS) تعیین و ثبت گردید. در هر مرحله، نمونه‌های آب در ظروف پلاستیکی یک لیتری جمع‌آوری، در یخچال مسافرتی حمل و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و طی مدت ۲۴ ساعت، شاخص‌های غلظت نیترات، EC و pH در آن‌ها اندازه‌گیری گردید. به منظور اندازه‌گیری غلظت نیترات در نمونه‌ها، از روش استاندارد اسپکتروفتومتری استفاده شد.

در این روش، اندازه‌گیری جذب اشعه فرابنفش در طول موج ۲۲۰ نانومتر امکان تعیین سریع مقدار نیترات را فراهم می‌کند. علاوه بر این، مواد آلی نیز ممکن است در طول موج ۲۲۰ نانومتر جذب شوند، اما نیترات در طول موج ۲۷۵ نانومتر جذبی ندارد. به همین دلیل و به منظور تصحیح مقدار نیترات، جذب در طول موج ۲۷۵ نانومتر نیز اندازه‌گیری می‌شود. برای به دست آوردن میزان جذب نیترات، دو برابر قرائت انجام شده در طول موج ۲۷۵ نانومتر از قرائت ۲۲۰ نانومتر کم شد (۱۱). به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های EC و pH به ترتیب از ECمتر (Jenway، مدل 4010، انگلستان) و pHمتر (Metrohm، مدل 632، ساخت سوئیس) استفاده گردید.



شکل ۱. الف) موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری شده و ب) رخنمون سنگی مناطق مورد بررسی

ارزیابی ضریب خطر (Hazard quotient یا HQ) نیترات نیز با استفاده از غلظت نیترات اندازه‌گیری شده و مدل‌های ارایه شده توسط WHO و USEPA محاسبه شد. بدین منظور از رابطه ۱ استفاده گردید که در آن، HQ خطر غیر سرطان‌زایی نیترات، CDI میانگین دز روزانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) و RFD مقدار مرجع برای نیترات (۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) (۱۲) می‌باشد.

$$HQ = CDI/RFD \qquad \text{رابطه ۱}$$

به منظور محاسبه میانگین دز روزانه از رابطه ۲ استفاده شد که در آن، CW متوسط غلظت نیترات در آب شرب مصرفی (میلی‌گرم در لیتر) در طول زمان مواجهه است که برای تعیین مقدار مواد شیمیایی درون آب هنگام ارزیابی خطر بهداشتی استفاده گردید. WI مقدار آب آشامیدنی مصرف شده توسط فرد پذیرنده می‌باشد که به طور مستقیم به درجه مواجهه فرد با مواد آلوده‌کننده ارتباط دارد. از آن‌جا که در منطقه مورد بررسی داده‌های کافی در دسترس نبود، با توجه به اطلاعات USEPA، مقدار WI برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب ۱ و ۲ لیتر در روز در نظر گرفته شد. F تناوب قرار گرفتن فرد پذیرنده در معرض مواد آلاینده است که در پژوهش حاضر به دلیل این که نیترات از طریق آب آشامیدنی وارد بدن می‌شود، مقدار F (۳۶۵ روز در سال) در نظر گرفته شد. شاخص D یا مدت مواجهه، مدت زمانی است که فرد در معرض مواد آلاینده قرار می‌گیرد و بر اساس USEPA، مقدار آن برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب ۴۰ و ۶ سال پیشنهاد شده است. بر اساس مطالعات پیشین، BW میانگین وزن برای مردان، زنان و کودکان به ترتیب با مقادیر ۷۸، ۶۵ و ۱۴/۵ کیلوگرم است (۱۵-۱۳). T زمان متوسط در معرض قرار گرفتن (سال) و برابر با D × ۳۶۵ روز می‌باشد که مقدار آن بر اساس USEPA برای مواد غیر سرطان‌زا، d/a ۳۶۵ × مدت زمان مواجهه پیشنهاد شده است.

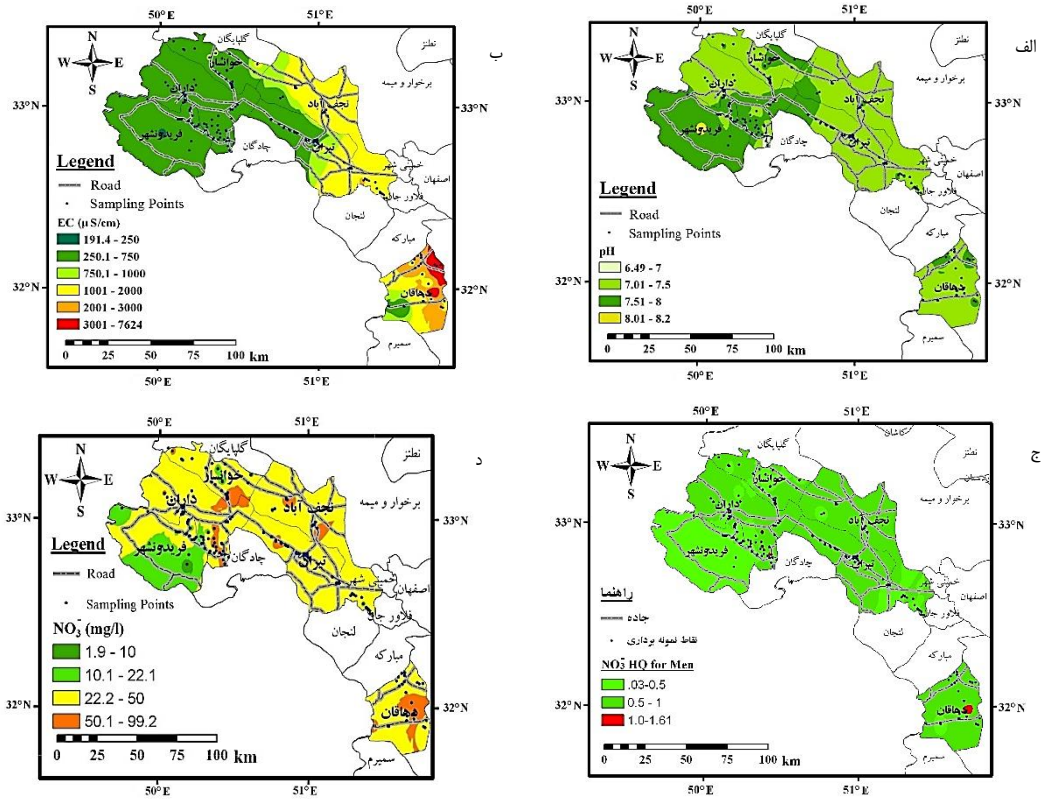
$$CDI = CW \times WI \times F \times D/(BW \times T) \qquad \text{رابطه ۲}$$

میزان HQ کمتر از ۱ نشان دهنده عدم وجود اثرات نامطلوب سلامتی و مقادیر بیشتر از آن بیان‌کننده خطر غیر سرطان‌زایی و احتمال اثرات نامطلوب بر سلامتی است. پس از اندازه‌گیری شاخص‌های مورد نظر، نقشه‌های پراکنش این شاخص‌ها در نرم‌افزار ArcGIS نسخه 9.3 تهیه شد. با توجه به تعداد نقاط نمونه‌برداری (۱۸۱ نقطه)، به منظور پهنه‌بندی و درون‌یابی EC، pH، غلظت نیترات و HQ، از روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW یا Inverse Distance Weighting) استفاده گردید. روش IDW یکی از روش‌های درون‌یابی کلاسیک می‌باشد که فرض می‌کند با افزایش فاصله، میزان تأثیر شاخص‌ها در برآورد سطح کاهش می‌یابد. در این روش، وزن نقاط نمونه بر روی نقطه مجهول با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به نحوه پراکندگی نقاط حول نقطه مورد تخمین، تعیین می‌شود. به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری داده می‌شود (۱۶). مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از معیار شاخص‌های مورد بررسی در نرم‌افزار Excel محاسبه گردید.

یافته‌ها

نتایج مربوط به پهنه‌بندی EC آب چاه‌های مورد بررسی در شکل ۲ (قسمت الف) نشان داده شده است. بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست، حد مجاز EC در آب شرب و کشاورزی به ترتیب ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد (۱۷). به منظور مقایسه بهتر مقادیر EC بین مناطق مورد نظر، مقادیر اندازه‌گیری شده EC بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست در شش گروه شامل ۲۵۰-۱۹۱/۴ (رنگ سبز تیره)، ۷۵۰-۲۵۰/۱ (رنگ سبز متوسط)، ۱۰۰۰-۷۵۰/۱ (رنگ سبز روشن)، ۲۰۰۰-۱۰۰۱ (رنگ زرد)، ۳۰۰۰-۲۰۰۱ (رنگ نارنجی) و ۷۶۲۴-۳۰۰۱ (رنگ قرمز) دسته‌بندی شد. بر این اساس، مناطق به رنگ نارنجی و قرمز به ترتیب برای کاربری شرب و کشاورزی مناسب نیستند. با توجه به شکل، بیشتر این مناطق در شهرستان دهاقان واقع شده‌اند. با توجه به شکل ۲ (قسمت الف)، چاه‌های نمونه‌برداری شده از شهرستان‌های فریدون‌شهر، داران، تیران، خوانسار و نجف‌آباد دارای رنگ سبز و زرد می‌باشند که حاکی از مناسب بودن EC آب برای مصارف شرب و کشاورزی است. علاوه بر این، در شهرستان دهاقان نیز ۵ حلقه چاه مورد آزمایش در منطقه قرمز رنگ قرار داشت که نشان دهنده نامناسب بودن آن‌ها حتی برای کاربری کشاورزی است.

کمترین مقدار EC (۱۹۱/۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) متعلق به آب چاه با کاربری شرب در منطقه فریدون‌شهر بود؛ در حالی که بیشترین مقدار آن در آب با کاربری کشاورزی در منطقه دهاقان به مقدار ۷۶۲۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر مشاهده گردید (جدول ۲). میانگین EC، ۸۹۰/۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به دست آمد.



شکل ۲. الف) پهنه‌بندی Electrical conductivity (EC) ب) pH، ج) نیترات و د) ضریب خطر سلامت نیترات برای مردان در مناطق مورد بررسی

بررسی مقدار انحراف معیار EC (۶۷۸/۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) نشان داد که داده‌های مربوط به آن پراکندگی زیادی از نظر مقدار دارند (جدول ۲). نتایج مربوط به پهنه‌بندی pH آب چاه‌های مورد بررسی در شکل ۲ (قسمت ب) نشان داده شده است. بر اساس استاندارد تعیین شده مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (استاندارد ۱۰۵۳)، حد مطلوب pH در آب شرب، ۶/۸–۵/۵ است (۱۸). همچنین، حد مجاز pH در آب شرب و کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط زیست به ترتیب ۸/۵–۶/۵ و ۸/۴–۶/۵ گزارش شده است (۱۷). مقادیر pH در چهار گروه ۷–۶/۴۹، ۷/۵–۷/۰۱، ۸–۷/۵۱ و ۸/۲–۸/۰۱ قرار داده شد.

در بین نمونه‌ها، کمترین و بیشترین مقدار pH به ترتیب ۶/۴۹ و ۸/۲ بود. تمامی مقادیر اندازه‌گیری شده pH کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران و سازمان حفاظت محیط زیست ایران بود. مقدار میانگین محاسبه شده برای pH، ۷/۵ به دست آمد. مقدار انحراف معیار نیز ۰/۲ بود که مقدار کم آن بیان‌کننده دامنه پراکندگی کم داده‌های pH می‌باشد.

پهنه‌بندی مقدار نیترات آب چاه‌های مورد بررسی در شکل ۲ (قسمت ج) مشاهده می‌شود. مقدار مجاز نیترات در آب برای کاربری شرب به وسیله مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سازمان حفاظت محیط زیست، ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است (۱۸، ۱۷). همچنین، مقدار مجاز نیترات در آب کشاورزی به وسیله سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۲/۸۶ میلی‌گرم در لیتر (معادل ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن نیتراتی) مشخص شده است (۱۷).

جدول ۲. خلاصه‌ای از وضعیت آماری شاخص‌های مورد بررسی

شاخص	EC (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	pH	NO3- (میلی‌گرم در لیتر)	HQ مردان	HQ زنان	HQ کودکان
حداقل	۱۹۱/٤	٦/٤٩	۱/۹	۰/۰۲۸	۰/۰۳٤	۰/۰٦
حداکثر	۷٦۲٤	۸/۲۰	۹۹/۲	۱/٦۱۰	۱/۹۳۰	۳/٦۸
میانگین ± انحراف معیار	۸۹۰/۷۰ ± ٦۷۸/۲۰	۷/٥۰ ± ۰/۲۰	۳٦/٤۰ ± ۱۱/۱۰	۰/٦۱ ± ۰/۳۰	۰/۷٤ ± ۰/۳٦	۱/٤۰ ± ۰/٦۹

EC: Electrical conductivity; HQ: Hazard quotient

با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده نیترات و استاندارد ملی ایران (استاندارد ۱۰۵۳) و سازمان حفاظت محیط زیست، پهنه‌بندی آن در چهار گروه ۱۰-۱/۹ (سبز تیره)، ۲۲-۱۰/۱ (سبز روشن)، ۵۰-۲۲/۱ (زرد) و ۹۹/۲-۵۰/۱ (نارنجی) انجام گرفت (شکل ۲، قسمت ج). کمترین و بیشترین مقدار نیترات به ترتیب ۱/۹ و ۹۹/۲ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن نیتراتی بود. با توجه به پهنه‌بندی نیترات در مناطق مورد بررسی در نقاط به رنگ سبز تیره و روشن و نیز رنگ زرد، مقدار نیترات آب از نظر شرب و کشاورزی محدودیتی نداشت. در مناطقی که به رنگ نارنجی مشخص شده‌اند، مقدار نیترات آب چاه‌ها برای شرب بیشتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران و سازمان حفاظت محیط زیست (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) بود و مناسب شرب نبود، اما از لحاظ کاربرد برای کشاورزی محدودیتی نداشت. به عبارت دیگر، مناطق مورد نظر محدودیتی از نظر نیترات برای استفاده از آب چاه‌ها جهت کشاورزی نداشتند؛ هرچند در ۷۸/۶ درصد از مناطقی که مقدار نیترات در محدوده ۵۰-۲۲/۱ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن نیتراتی بود (مناطق زرد رنگ)، احتمال افزایش مقدار نیترات و نامناسب شدن آن برای شرب وجود داشت.

پهنه‌بندی ضریب خطر سلامت نیترات برای مردان در شکل ۲ (قسمت د) نشان داده شده است. نتایج بررسی HQ نشان داد که کمترین مقدار (۰/۰۲۸) در گروه مردان مشاهده شد؛ در حالی که بیشترین مقدار آن (۳/۶۸) برای گروه کودکان به دست آمد. مقدار میانگین HQ برای گروه مران، زنان و کودکان به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۷۴ و ۱/۴۰ گزارش گردید (جدول ۲). علاوه بر این، مقدار ضریب خطر برای گروه مردان، زنان و کودکان به ترتیب در ۷/۶، ۲۲/۸ و ۶۹/۰ درصد از مناطق مورد بررسی بیشتر از حد مجاز برای شاخص سلامت (HQ = ۱) به دست آمد.

بر اساس نتایج پهنه‌بندی عمق چاه‌ها، بیشترین مقادیر EC و نیترات در شهرستان دهاقان و شمال نجف‌آباد اندازه‌گیری شد که عمق چاه‌های نمونه‌برداری شده نیز در این مناطق بیشتر از سایر نقاط بود. بر اساس ضرایب همبستگی Pearson، رابطه مثبت و معنی‌داری بین عمق و تمام شاخص‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر (EC، pH، NO^-_3) وجود داشت ($P < ۰/۰۵$).

به عبارت دیگر، هرچه عمق نمونه‌برداری افزایش یافت، مقدار شاخص‌های مورد بررسی نیز افزایش پیدا کرد. این یافته می‌تواند هشداری برای عدم افزایش عمق برداشت آب از چاه‌ها باشد. همچنین، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت نیترات و مقدار EC ($P < ۰/۰۱$، $r = ۰/۲۶۹$) مشاهده گردید (جدول ۳).

جدول ۳. ضرایب همبستگی Pearson بین شاخص‌های مورد بررسی [Electrical conductivity (EC)، pH، نیترات و عمق نمونه‌برداری چاه‌ها]

شاخص	عمق چاه‌ها	EC	نیترات
EC	*۰/۱۴۷		
نیترات	*۰/۱۵۷	**۰/۲۶۹	
pH	*۰/۱۸۳	¥-۰/۰۹۶	**-۰/۲۵۹

*همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، **همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، ¥عدم همبستگی

EC: Electrical conductivity

بحث

مساحت کل منطقه مورد بررسی، ۱۰۵۱۱۸۴ هکتار بود. بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار EC حدود ۹۴ درصد از مناطق مطالعاتی در حد مجاز برای شرب بود. همچنین، فقط در ۱/۷۲ درصد از مناطق مورد نظر مقدار EC بیشتر از ۳۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود که از لحاظ شرب و کشاورزی بیش از حد مجاز می‌باشد. نتایج پژوهش حسینی و همکاران با هدف بررسی کیفیت آب زیرزمینی محدوده شبکه آبیاری و زهکشی دشت عباس واقع در استان ایلام جهت استفاده در کشاورزی و شرب نشان داد که مقادیر EC نمونه‌ها در محدوده ۱۴۱۰ تا ۱۱۶۳۰ میکروموس بر سانتی‌متر (میانگین ۳۸۴۵/۲ میکروموس بر سانتی‌متر) قرار داشت و فقط آب ۴ حلقه چاه از ۲۱ حلقه برای شرب مناسب بود (۱۹) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت نداشت. نتایج تحقیقی با هدف بررسی کیفیت آب آشامیدنی ۵۰ حلقه چاه در مناطق کوهستانی پاکستان نشان داد که بیشترین مقدار EC آب، ۹/۷۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. در ۲۵ درصد از مناطق مورد بررسی، مقدار EC بیشتر از حد اطمینان WHO به دست آمد که می‌تواند به غشای مخاطی انسان آسیب برساند (۲۰).

کمترین مقادیر pH به طور عمده در شهرستان‌های نجف‌آباد، تیران، دهاقان و بخش‌های زیادی از خوانسار و داران مشاهده شد. مقدار pH در ۶۶/۲۵ درصد از مناطق مورد بررسی (۶۹۶۴۱۱/۳ هکتار) در محدوده ۷ تا ۷/۵ قرار داشت. نتایج پژوهش درخور و شبان نشان داد که مقدار pH پنج چاه تأمین‌کننده آب آبیاری شهر یاسوج، از ۴/۵ تا ۵ متغیر بود که کمتر از حد مجاز سازمان حفاظت محیط زیست برای آب کشاورزی (۸/۴-۶/۵) می‌باشد. بنابراین، به علت اسیدی بودن، برای مصارف آبیاری محدودیت وجود دارد (۲۱). به طور کلی، در ۹۲ درصد از مناطق مورد بررسی، مقدار نیترات آب شرب کمتر از حد مجاز بود و محدودیتی وجود نداشت و تنها در ۸ درصد از مناطق مطالعاتی (۸۴۶۰۵/۶ هکتار) مقدار نیترات آب چاه‌ها برای شرب مناسب نبود. مقدار میانگین محاسبه شده برای نیترات، ۳۶/۴ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. نتایج بررسی ۸ منبع آب زیرمینی در اسدآباد نشان داد که مقدار نیترات در تمام نمونه‌های مورد آزمایش کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران بود (۲۲).

یافته‌های حاصل از بررسی مقدار نیترات ۱۰۰ حلقه چاه آبخوان شهرکرد، بیان‌کننده افزایش میانگین غلظت نیترات از ۱۸ به ۲۷ میلی‌گرم در لیتر از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ بود (۲۳). نتایج مطالعه عالیقدری و همکاران که با هدف بررسی غلظت نیترات در منابع آب تأمین‌کننده و شبکه توزیع آب آشامیدنی اردبیل انجام شد، حاکی از آن بود که غلظت نیترات در چاه‌های تأمین‌کننده آب آشامیدنی طی دو فصل در محدوده ۴۸/۴۵-۴/۸۷ میلی‌گرم در لیتر قرار داشت و کمتر از حداکثر غلظت مجاز بر اساس استاندارد WHO و وزارت نیروی ایران بود. همچنین، آن‌ها بیان نمودند که شاید ترکیبات زمین‌شناسی منطقه، دفع فاضلاب‌های تصفیه نشده شهری، صنعتی و کشاورزی به محیط زیست (خاک، آب‌های سطحی و...) و کشاورزی بودن منطقه و استفاده از کودهای حیوانی و شیمیایی، از عوامل مهم تغییر غلظت یون نیترات در چاه‌های مورد بررسی باشند (۲۴). بر اساس نتایج تحقیقی با هدف ارزیابی خطر غیر سرطان‌زایی نیترات در آب آشامیدنی مناطق شهری و روستایی زاهدان، حداقل و حداکثر مقدار HQ برای کودکان به ترتیب ۰/۲ و ۱۰/۲ به دست آمد. همچنین، نسبت خطر برای ۴۴ درصد از گروه کودکان، ۱۴ درصد از گروه زنان و ۸ درصد از گروه مردان در

مناطق روستایی و برای ۵۵ درصد از گروه کودکان، ۲۲ درصد از گروه زنان و ۱۸ درصد از گروه مردان در مناطق شهری بیشتر از ۱ بود (۱۴). نتایج پژوهش دیگری در ارزیابی آلودگی نیترات آب‌های زیرزمینی در جنوب هند حاکی از آن بود که مقدار HQ برای مردان، زنان و کودکان به ترتیب در ۶۷/۵۶، ۷۹/۴۱ و ۸۲/۳۵ درصد از مناطق بررسی شده بیشتر از ۱ بود (۲۵).

بر اساس نتایج حاصل شده، ضرورت دارد آب چاه‌های موجود در مناطق تحت عرصه کشاورزی یا چاه‌هایی که به نحوی در خطاالقعر منطقه واقع شده‌اند و تحت تأثیر آلاینده‌های بالادست قرار دارند و یا چاه‌هایی که در نزدیکی چاه‌های فاضلاب انسانی یا صنعتی واقع شده‌اند، به هیچ وجه مورد استفاده شرب انسان و دام قرار نگیرند. در صورت نیاز به استفاده اضطراری، لازم است آب آن‌ها مورد آنالیز قرار گیرد تا در حالت عدم آلوده بودن استفاده شود. در مناطقی که چاه‌های آب شرب منطقه در عرصه کشاورزی واقع هستند، اگرچه این چاه‌ها به درستی جایابی نشده‌اند، اما برای حفظ کیفیت آن‌ها لازم است استفاده از کودهای نیتروژنی در عرصه کشاورزی مدیریت گردد. در مجموع، انتخاب یا جایابی مناسب برای حفر چاه‌های شرب و کشاورزی اهمیت فراوانی دارد و ضروری است مورد توجه ویژه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، مقدار میانگین شاخص‌های EC، pH و غلظت نیترات در نمونه‌های مورد بررسی به ترتیب ۸۹۰/۷ میکروزیمنس بر متر، ۷/۴۵ و ۳۶/۴ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. همه مقادیر اندازه‌گیری شده pH کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران و سازمان حفاظت محیط زیست ایران بود. کمترین مقدار شاخص HQ (۰/۰۲۸) برای گروه مردان و بیشترین مقدار آن (۳/۶۸) برای گروه کودکان گزارش شد. مناطق مورد بررسی محدودیتی از نظر غلظت نیترات برای استفاده از آب چاه‌ها جهت کشاورزی ندارند؛ هرچند در ۷۸/۶ درصد از مناطق مطالعاتی که مقدار نیترات در محدوده ۵۰-۲۲/۱ قرار دارد، احتمال افزایش مقدار نیترات و نامناسب شدن آن برای شرب وجود دارد. با توجه به نتایج، به منظور حفظ کیفیت آب‌های زیرزمینی و مدیریت صحیح آن‌ها، انجام چنین پژوهش‌هایی به صورت برنامه‌ریزی شده و مداوم ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان به سبب تأمین هزینه‌های انجام مطالعه، مجتمع آزمایشگاهی بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان جناب آقای مهندس شریفی و آقایان مهندس احمد رئیس‌زاده و مهندس مصطفی ایزدی به سبب همکاری در انجام تحقیق حاضر، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Yousefi A, Khaliliyan S, Balali H. Strategic importance of water in Iranian overall economy: A CGE modeling approach. Journal of Agricultural Economics and Development 2011; 25(1): 109-20. [In Persian].
2. Pour Moghadas H. A study of ground water quality in lenjan township of Isfahan province. J Sch Public Health Inst Public Health Res 2003; 1(4): 31-40. [In Persian].
3. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). Wastewater treatment and use in agriculture. Tehran, Iran: IRNCID; 2001. [In Persian].
4. Hajhamad L, Almasri MN. Assessment of nitrate contamination of groundwater using lumped-parameter models. Environ Model Softw 2009; 24(9): 1073-87.
5. Wang Y, Wang P, Bai Y, Tian Z, Li J, Shao X, et al. Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: A case study of the Songhua River Harbin region, China. J hydro-environ res 2013; 7(1): 30-40.
6. Mirzaei I, Sakizadeh M, Ghorbani H. Nitrate contamination of drinking and agricultural groundwater resources in Shahrood and Damghan, Iran. J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 25(131): 117-27. [In Persian].
7. Asadzadeh F, Pirkharrati H, Sheikhi Almanabad Z. Assessment of spatial distribution some ground water quality indexes in Adrabil plain for irrigation uses. Journal of Water and Soil Resources Conservation 2019; 9(1): 107-22. [In Persian].
8. Sajadi Minaab Z, Yaghobi SM. Geochemical evaluation of groundwater quality in Borazjan plain for agricultural purposes. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 2017; 27(1): 133-45. [In Persian].
9. Mohseni B, Rahehi Tanin B. A review of groundwater nitrate and phosphate place changes and identify the most important factors of pollution through the evaluation of the methods of the Kriging and Co- Kriging series, and multiple regression model in watershed of Golestan province Gharahsoo. Geographic Space 2017; 17(59): 311-30. [In Persian].
10. Chen J, Wu H, Qian H. Groundwater nitrate contamination and associated health risk for the rural communities in an agricultural area of Ningxia, Northwest China. Expo Health 2016; 8(3): 349-59.
11. Armstrong FAJ. Determination of nitrate in water ultraviolet spectrophotometry. Anal Chem 1963; 35(9): 1292-4.
12. United States Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System (IRIS). Washington, DC: EPA: 2013.
13. Nikbakht M, Rezaei M, Shakeri A. Health risk assessment of fluoride and nitrate in Lar area, south Iran. Journal

of Environmental Geology 2017; 10(37): 85-96. [In Persian].
14. Pirasteh K , Bazrafshan E, Ashrafi SD, Aghahosseini A, Meshkininan A, Kord Mostafapour F, et al. Non-cancer risk assessment of nitrate in drinking water of urban and rural areas of Zahedan City in 2018. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences 2019; 7(3): 24-33.
15. Mohammadi B, Farajzadeh M, Safari GH. Monitoring and health risk assessment of nitrate in drinking water in rural and urban areas of Tabriz, East Azerbaijan Province, Iran. Journal of Human Environment and Health Promotion 2021; 7(1): 15-21. [In Persian].
16. Fathi Hafshjani E, Beygi Harchgani H, Davoudian A, Tabatabaee H. Comparison of spatial interpolation methods and selecting the appropriate method for mapping of nitrate and phosphate in the Shahrekord Aquifer. Irrigation and Water Engineering 2014; 4(3): 51-63. [In Persian].
17. Department of the Environment, Islamic Republic of Iran. Iran Water Quality Standard [Online]. [cited 2013 Aug]; Available from: URL: https://wsm.doe.ir/portal/file/?1350290/%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%A7%D9%86%D8%AF%D8%A7%D8%B1%D8%AF-%D9%83%D9%8A%D9%81%D9%8A%D8%AA-%D8%A2%D8%A8.docx 2016.
18. Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). Drinking water: Physical and chemical specifications, ISIRI 1053. 5th ed. Tehran, Iran: ISIRI; 2010. [In Persian].
19. Hosseini A, Poormohammad P, Yarmohamadi E. Groundwater quality, electrical conductivity, hydrochemical facies, Dashteabas. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering 2018; 12(40): 51-8. [In Persian].
20. Saeed MA, Murtaza G, Ali S, Aziz H, Albeshr MF, Mahboob S, et al. Assessment of Drinking Water Quality and Associated Socio-Economic Impacts in Arid Mountainous Regions. Sustainability 2022; 14(19): 12567.
21. Darkhor SM, Shaban M. Study of microbial and nitrate contamination in groundwater aquifers. Journal of Environmental Science Studies 2018; 3(1): 607-18. [In Persian].
22. Golzar Khojasteh B, Golzar Khojasteh M, Yary K, Torkaman J. Investigating the physicochemical status of the sources of drinking water supply in Asadabad City during 2011-2018. J Rafsanjan Univ Med Sci 2019; 18(8): 741-52. [In Persian].
23. Fathi Hafshejani E, Beigi Harchegani H. Spatial variability and mapping of nitrate and phosphate in shahrekord groundwater over a period of five years. Journal of Water and Soil Science 2013; 17(65): 63-75. [In Persian].
24. Alighadri M, Hazrati S, Sakhaiezadeh A, Soleymanpoor M. Measurement of nitrate concentrations in drinking water supply sources and distribution network of Ardabil City. Journal of Health 2011; 2(2): 69-75. [In Persian].
25. Narsimha A, Li P, Qian H. Evaluation of groundwater contamination for fluoride and nitrate in semi-arid region of Nirmal Province, South India: A special emphasis on human health risk assessment (HHRA). Hum Ecol Risk Assess 2018; 25(5): 1107-24.