Journal of Research in Environmental Health

Volume 9, Issue 4, Winter 2024

Risk Assessment of Nitrate and Fluoride in Drinking Water Sources of Golestan Province

Mojtaba G. Mahmoodlu
*Associate Professor at Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. (Corresponding author) : m.g.mahmoodlu@gmail.com

Tara sotoudehnia
Water Engineering at Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

Received: 2023/06/11
Accepted: 2023/09/09

DOI: 10.22038/jreh.2024.23861

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Purpose: Groundwater serves as the primary drinking water source in Golestan Province. Therefore, this study aims to assess the non-cancerous health risks associated with nitrate and fluoride in the province's drinking water sources.

Materials and Methods: Physicochemical data from 139 drinking water wells were obtained from the Golestan Province Water and Wastewater Company during the spring and autumn. Significant ion variations were analyzed, and factors influencing the chemistry of drinking water sources in Golestan Province were investigated. Non-carcinogenic health risks posed by nitrate and fluoride were assessed using two indicators provided by the United States Environmental Protection Agency.

Results: The maximum nitrate concentration in certain Golestan Province cities exceeds the Iranian drinking water standards (1053) and the World Health Organization's limits. However, fluoride levels in most cities fall below the range stipulated by domestic and international standards. The nitrate risk factor for children in select cities exceeds one, while it remains below one for other age groups. Notably, Khan Bebin City exhibits the lowest nitrate risk factor among the province's cities. Additionally, risk factor values show a slight increase during the autumn season. Non-cancerous health risk assessments for fluoride in drinking water sources across Golestan Province during spring and autumn indicate risk values below one for all age groups, including infants, children, teenagers, and adults.

Conclusion: The health risk assessments for nitrates and fluorides indicate that children in certain cities face a higher risk from nitrates than adults. Moreover, the low fluoride levels in the province's drinking water sources increase the likelihood of tooth decay.

Keywords: Groundwater, Drinking Water, Nitrate, Fluoride, Health Risk Assessment

▶ **Citation:** G. Mahmoodlu M, Sotoudehnia T. Risk Assessment of Nitrate and Fluoride in Drinking Water Sources of Golestan Province. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2024; 9(4): 428-441.

ارزیابی خطر سلامت نیترات و فلوراید در منابع آب شرب استان گلستان

مجتبی قره محمودلو
* دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران. (نویسنده مسئول):
m.g.mahmoodlu@gmail.com

تارا ستوده‌نیا
دانشجوی کارشناسی رشته مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸
نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: در استان گلستان آب‌های زیرزمینی منبع اصلی آب شرب می‌باشد. از این‌رو پژوهش حاضر به منظور ارزیابی خطر سلامت غیر سرطانی نیترات و فلوراید در منابع آب شرب استان گلستان انجام شد.
مواد و روش‌ها: در این پژوهش، آنالیز فیزیکوشیمیایی ۱۳۹ حلقه چاه آب شرب در دو فصل بهار و پاییز از اداره آب و فاضلاب استان جمع‌آوری شد. سپس تغییرات پارامترهای کیفی به همراه عوامل موثر بر شیمی منابع آبی بررسی شد. درنهایت جهت ارزیابی خطر سلامت برای نیترات و فلوراید از دو شاخص آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا محاسبه شد.
یافته‌ها: حداکثر غلظت نیترات در برخی از شهرهای استان گلستان بالاتر از حد مجاز استانداردهای آب شرب ایران ۱۰۵۳ و سازمان بهداشت جهانی می‌باشد اما میزان تغییرات فلوراید در اکثر شهرهای استان پایین‌تر از رنج استانداردهای داخلی و خارجی است. ضریب خطر نیترات محاسبه‌شده برای کودکان در برخی از شهرهای استان بیش از یک می‌باشد. اما برای بقیه گروه‌های سنی کوچکتر از یک می‌باشد. شهر خان‌ببین کمترین مقدار ضریب خطر نیترات را در بین شهرهای استان دارد. همچنین مقدار ضریب خطر در پاییز اندکی افزایش یافته است. نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سلامت فلوراید منابع آبی استان گلستان در بهار و پاییز برای تمامی گروه‌های سنی نوزادان، کودکان، نوجوانان و افراد بالغ کمتر از یک می‌باشد.
نتیجه‌گیری: نتایج ارزیابی ریسک سلامت نیترات و فلوراید نشان داد که کودکان نسبت به بزرگسالان در برخی از شهرها نسبت به نیترات در معرض خطر قرار دارند. اگرچه مقدار پایین فلوراید در منابع آب شرب استان احتمال پوسیدگی دندان را افزایش می‌دهد.

کلید واژه‌ها: آب زیرزمینی، آب شرب، نیترات، فلوراید، ارزیابی ریسک سلامت

◀ **استناد:** قره محمودلو م، ستوده‌نیا ت. ارزیابی خطر سلامت نیترات و فلوراید در منابع آب شرب استان گلستان. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۴۰۲؛۹(۴): ۴۲۸-۴۴۱.

مقدمه

آب زیرزمینی اصلی‌ترین منبع برای تامین آب برای بخش شرب و کشاورزی در ایران و بیشتر کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا می‌باشد. در سال‌های اخیر با رشد روزافزون جمعیت و افزایش فعالیت‌های شهری، کشاورزی و صنعتی منابع آب‌های زیرزمینی بیشتر در معرض خطر آلودگی قرار گرفته‌اند. کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در نتیجه فعالیت‌های انسانی منجر به آسیب لحظه‌ای و پایدار و همچنین باعث بروز نگرانی‌های جدی در بیشتر نقاط دنیا شده است (۱).

ترکیبات مختلف نیتروژن‌دار نظیر: آمونیاک، نیتریت به ویژه نیترات به فراوانی در آب آشامیدنی و انواع پساب‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی یافت می‌شود. آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی به نیترات یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد بحث در توسعه پایدار بخش‌های شرب و کشاورزی بوده و مشکلات زیادی را برای اقتصاد هر منطقه، اکوسیستم و سلامتی انسان به دنبال دارد (۲). نیترات همچنین یکی از مهم‌ترین آلاینده‌هایی انسانی است که بیشتر آبخوان‌ها کشور، از جمله آبخوان‌های دشت گرگان در نتیجه فعالیت‌های کشاورزی (استفاده بیش از حد از کودهای ازته) و نبود سیستم جمع‌آوری فاضلاب‌های شهری و خانگی به آن آلوده هستند.

غلظت بیش از حد نیترات در آب شرب سبب بروز اختلال در انتقال اکسیژن در خون و سرطان دستگاه گوارش (خصوصا معده) در انسان و مسمومیت در حیوانات نشخوارکننده می‌شود. از طرف دیگر میزان تولید و کیفیت محصولات باغی و زراعی به مقدار ازت موجود در آب و خاک بستگی دارد. همچنین افزایش بیش از حد این ماده در آب و خاک باعث رشد رویشی و تاخیر در بلوغ گیاه شده و مقدار محصول را کاهش می‌دهد. غلظت‌های زیاد نیترات مشکلاتی در استفاده از این آب‌ها در صنعت بوجود می‌آورد. براساس استانداردهای سازمان جهانی حفاظت محیط زیست، سازمان بهداشت جهانی و همچنین ملی و جهانی در صورتی که میزان نیترات آب زیرزمینی به ترتیب به بیش از ۴۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر برسد آب زیرزمینی آلوده در نظر گرفته می‌شود و در استفاده از آن می‌بایست تمهیداتی در نظر گرفته شود (۳، ۴ و ۵).

فلوراید سبک‌ترین و فعال‌ترین عضو گروه هالوژن‌ها می‌باشد که به شکل آنیون در آب و خاک وجود دارد و از طریق پروسه‌های طبیعی وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود. این عنصر یکی از ۱۴ عنصر مهم و به عنوان یک عنصر ریزمغذی ضروری برای بدن محسوب می‌شود که در بافت‌ها و مایعات بدن انسان‌ها و جانوران با مقادیر مشخصی وجود دارد. این عنصر اثرات قابل توجهی بر سلامت انسان (رشد دندان و استخوان‌ها) به ویژه از راه نوشیدن آب آشامیدنی دارد (۶ و ۷). غلظت یون فلوئور در آب شرب شبیه یک شمشیر دو لبه است که کمبود و افزایش آن در طولانی مدت سبب شیوع برخی بیماری‌های دهان، دندان و همچنین ناراحتی‌های استخوانی می‌شود. اگرچه شدت صدمه به انسان به دو عامل مدت زمان در معرض قرارگیری این یون و غلظت فلوراید در آب شرب بستگی دارد (قره‌محمودلو و همکاران). مصرف این عنصر در غلظت‌های کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر باعث پوسیدگی دندان می‌شود و در غلظت‌های بیش از ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر، باعث فلوئوروزیس دندانی و جذب در غلظت‌های بیش از ۳ میلی‌گرم در لیتر، باعث فلوئوروزیس اسکلتی می‌شود. از عوارض جانبی فلوراید می‌توان به پوکی استخوان اشاره کرد. اگرچه این دارو ماده‌ای معدنی به حساب می‌آید اما در صورتی که بیش از اندازه مصرف شود می‌تواند باعث کلسیم‌زدایی شود (۸ و ۹).

تاکنون مطالعات زیادی بر روی غلظت نیترات و فلوئور در آب‌های زیرزمینی انجام شده است که از جمله می‌توان به پژوهش نیک‌بخت و همکاران (۱۰) اشاره‌کرد. در این تحقیق ارزیابی ریسک سلامت غیر سرطانی فلوئور و نیترات در آبخوان لار با استفاده از شاخص آژانس حفاظت محیط زیست[1] انجام شد. برای این منظور از ۱۷ حلقه چاه کشاورزی در دو فصل تر و فصل

1. EPA

خشک استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین غلظت فلوئور و نیترات در فصل تر به ترتیب ۲/۹ و ۱۹/۷ میلی‌گرم بر لیتر و در فصل خشک ۱/۸ و ۱۶/۳ میلی‌گرم بر لیتر بدست آمد. همچنین میزان غلظت اندازه‌گیری‌شده برای عناصر نیترات و فلوراید در برخی از نمونه‌های برداشت‌شده بیش از حد مجاز تعیین‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی برای آب شرب بوده و از این‌رو استفاده از آب این آبخوان برای مصارف شرب بویژه از نظر مقادیر فلوارید برای کودکان خطرناک می‌باشد. در پژوهشی دیگر پیراسته و همکاران (۱۱) به ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی نیترات در آب شرب مناطق شهری و روستایی شهر پرداختند. در این پژوهش از اطلاعات ۱۷۰ نمونه از شبکه توزیع آب شرب مناطق شهری و ۱۷۹ نمونه از شبکه توزیع آب شرب مناطق روستایی استفاده شد. غلظت نیترات در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و سپس ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از نیترات موجود در آب مصرفی توسط شاخص سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا محاسبه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که که میزان ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی در گروه کودکان بیشتر از زنان و مردان می‌باشد. به همین دلیل جهت کنترل فعالیت‌های انسانی، بهبود سیستم جمع‌آوری فاضلاب و بهبود روش‌های تصفیه آب را گامی موثر برای کنترل میزان نیترات در آب آشامیدنی و به دنبال آن حفظ سلامت جامعه به خصوص کودکان پیشنهاد کردند. ناواله و همکاران (۱۲) در پژوهشی خطر سلامتی غیر سرطان‌زای منبع آب‌های زیرزمینی آلوده به نیترات و فلوراید را در زیرحوضه وارداء مرکز هند ارزیابی کردند. بدین منظور ۹۳ نمونه آب زیرزمینی را در فصل بهار بررسی کردند. نتایج بررسی هیدروژئوشیمیایی نشان از میزان وسیعی از رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی از بیکربنات کلسیم (رخساره آب شیرین) تا رخساره آب شور (آب دریا) دارد. نتایج حاصل از مدل ارزیابی ریسک سلامت نیترات و فلوراید نشان داد آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از ریسک آلودگی بالایی برای نیترات و فلوراید (خصوصا برای کودکان) برخوردار هستند. در پژوهش دیگر علم و همکاران (۱۳) ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی نیترات، نیتریت و فلوراید را در احمدپور شرقی، پنجاب، پاکستان بررسی کردند. برای انجام این پژوهش از اطلاعات مربوط به ۳۶ نمونه آب شرب در منطقه استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که نوزادان و کودکان بیشتر از سایر سنین در معرض خطر به نیترات، نیتریت و فلوراید قرار دارند.

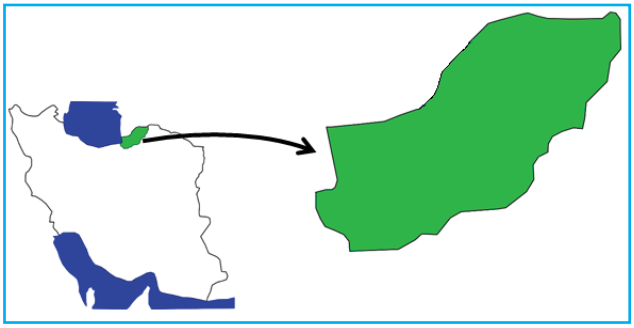
بررسی‌ها نشان داد که در سال‌های اخیر پژوهش‌های نسبتا زیادی در جهت ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی نیترات و فلوراید در آب زیرزمینی در ایران انجام شد که در بالا به برخی از آن‌ها اشاره شد. اما تاکنون پژوهش مشابهی بر روی منابع آب شرب استان گلستان انجام نشده است. از آنجایی که استان گلستان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در کشور می‌باشد و استفاده از کودهای ازته در این استان در دهه‌های اخیر افزایش چشمگیری داشته است. بنابراین انجام این پژوهش می‌توان اطلاعات مفیدی برای متولیان تولید آب شرب و همچنین مصرف‌کنندگان ارائه دهد که در صورت بالا بودن میزان نیترات و فلوراید، گامی موثر برای کنترل میزان آن‌ها در آب آشامیدنی و به دنبال آن حفظ سلامت جامعه برداشته شود. از این‌رو، پژوهش حاضر به منظور بررسی ریسک غیر سرطان‌زایی نیترات و فلوراید در منابع آبی استان گلستان به دو روش آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده انجام شد.

روش کار

منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با وسعتی در حدود ۲۰۸۹۳ کیلومترمربع در شمال و شمال شرق کشور بین رشته کوه‌های البرز، دشت‌های جنوبی کشور ترکمنستان (دارای ۳۴۸ کیلومتر مرز خاکی و ۹۰ کیلومتر مرز آبی با این کشور)، کوه‌های استان خراسان و دریای خزر واقع شده است (شکل ۱). براساس آخرین تقسیمات کشوری، این استان دارای ۱۴ شهرستان می‌باشد. استان گلستان به دلیل جایگاه جغرافیایی ویژه خود از آب و هوای گوناگونی شامل معتدل مدیترانه‌ای، معتدل

کوهستانی و سرد کوهستانی، خشک و نیمه خشک، مرطوب و نیمه مرطوب برخوردار است. با اینکه میزان بارندگی این استان از دو استان شمالی گیلان و مازندران کمتر است، اما میزان بارش نسبت به استان‌های دیگر بسیار بهتر و میانگین بارش سالانه آن ۳ برابر میانگین بارش سالانه کشور است. مجموع حجم آب‌های سطحی و زیرزمینی استان بیش از ۲۴۰۰ میلیون متر مکعب است که ۵۲ درصد آن را آب‌های سطحی و ۴۸ درصد آن را آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌دهند. آب‌های سطحی در بیش از ۴۰ شاخه رود جاری هستند که بیش‌تر آن‌ها از جنوب به شمال و از شرق به غرب جریان دارند. رود اترک، گرگان‌رود و رود قره‌سو، سه رود مهم استان گلستان هستند. با این حال، آب زیرزمینی منبع اصلی آب شرب استان گلستان می‌باشد (۲ و ۷).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

زمین‌شناسی و سفره‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

ناهمواری منطقه مورد مطالعه به سه ناحیه کوهستانی، کوهپایه‌ای و جلگه‌ای و اراضی پست تقسیم می‌شود، در نواحی کوهستانی استان، سازندهای پرکامبرین تا سنوزوئیک رخنمون دارند (۲ و ۷).

براساس نتایج حاصل از کاوش‌های ژئوفیزیکی، برش زمین‌شناسی چاه های اکتشافی و مشاهده‌ای، گستره گسترش مخروط‌افکنه‌ها و بررسی رفتار چاه‌های مشاهده‌ای کم‌عمق و پیزومترهای عمیق، آبخوان‌های آبرفتی گستره دشت گرگان به آبخوان آزاد (شامل قسمت‌های تک سفره حاشیه ارتفاعات و سفره سطحی مناطق چند سفره‌ای) و آبخوان عمقی (تحت فشار) تقسیم می‌شوند. نتایج حاصل از عملیات ژئوفیزیکی و مقاطع زمین‌شناسی چاه‌ها نشان می‌دهد که این سفره عموماً از رس، سیلت و کمی ماسه به صورت لایه‌های کم نفوذ با جریان تأخیری و یا بین لایه‌هایی از رسوبات دانه درشت تشکیل شده است. قسمت تک سفره‌ای آبخوان آزاد در محل گسترش رسوبات مخروط افکنه‌ای و در حاشیه ارتفاعات جنوبی تشکیل شده و شامل رسوبات دانه درشت‌تر نسبت به مناطق شمالی دشت است و از قابلیت نفوذپذیری و انتقال نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشد. آبخوان عمقی (تحت فشار) نیز باتوجه به نتایج مطالعات ژئوفیزیکی از مقاومت بالاتری برخوردار است و بر اساس مقاطع زمین‌شناسی چاه‌ها از رسوبات شن و ماسه ریز تا دانه درشت و گاهی قلوه سنگ تشکیل شده است. در بین آن‌ها نیز میان لایه‌هایی از رس، سیلت و ماسه نرم به عنوان لایه‌های کم نفوذ و نشتی وجود دارد (۱۴).

نمونه‌برداری و آنالیز منابع آب استان

در این پژوهش، اطلاعات مربوط به آنالیز فیزیکوشیمیایی ۱۳۹ حلقه چاه آب شرب در دو فصل بهار و پاییز از اداره آب و فاضلاب استان جمع‌آوری شد. مقدار برخی پارامترهای کیفی نظیر درجه حرارت، رنگ، pH، کدورت، EC، TDS و سختی کل در محل و با استفاده از دستگاه قابل حمل و الکترودهای مناسب اندازه‌گیری شد. مقدار بقیه پارامترهای شیمیایی شامل آنیون‌و کاتیون‌های اصلی شامل کلرید، سولفات، کربنات، بیکربنات، نیترات، نیتریت، فسفات و فلوئور و کاتیون‌هایی مثل کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم به همراه آهن، منگنز، آمونیاک در آزمایشگاه اداره آب و فاضلاب و با استفاده از روش‌های استاندارد موجود اندازه‌گیری شد.

از روش فلیم فتومتر جهت اندازه‌گیری کاتیون‌های سدیم و پتاسیم استفاده شد. اما غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم با استفاده از روش تیتراسیون تعیین شد. همچنین از روش اسپکتروفتومتر جذب اتمی مقادیر دو کاتیون آهن و منگنز در نمونه‌های آب اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت دو آنیون‌های بیکربنات و کلراید از روش تیتراسیون استفاده شد. در حالی که اندازه‌گیری غلظت آنیون سولفات با استفاده از روش کلرید باریم و دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. غلظت آنیون‌های نیتریت، نیترات و فسفات با استفاده از

اسپکتروفتومتر با استفاده از روش‌های استاندارد برآورد شد و در نهایت غلظت فلوراید بعنوان یکی از آنیون‌های مهم نمونه‌های آب زیرزمینی با استفاده از دستگاه یون کروماتوگراف تعیین شد (۷).

شاخص‌های اندازه‌گیری ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی نیترات و فلوراید

در این پژوهش جهت ارزیابی خطر سلامت برای مواد غیر سرطان‌زا برای نیترات و فلوراید از دو شاخص آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا[1] محاسبه شد.

در روش اول، مقدار ضریب خطر مواد غیر سرطان‌زا (HQ) برای دو گروه سنی بزرگسالان (مردان و زنان) و کودکان مطابق رابطه (۱) محاسبه شد:

$$HQ = \frac{CDI}{RFD} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق،HQ عددی بی‌بعد است اما واحد میانگین دوز روزانه (CDI) و دوز مرجع (RFD) برحسب mg/kg-d می‌باشد. میزان دوز مرجع براساس رهنمودهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا برای نیترات و فلوراید به‌ترتیب ۱/۶ mg/kg-d و ۰/۰۶ mg/kg-d می‌باشد(۱۵).

در رابطه (۱) میانگین دوز روزانه را می‌توان از رابطه (۲) محاسبه نمود:

$$CDI = \frac{C_w \times WI \times F \times D}{BW \times T} \qquad (۲)$$

که در رابطه (۲)، C_w متوسط غلظت نیترات و یا فلوراید در آب شرب مصرفی در طول زمان مواجهه که برای تعیین مقدار یک پارامتر شیمیایی درون آب آشامیدنی مصرف شده بهداشتی بکار می‌رود، WI مقدار آب آشامیدنی مصرف شده توسط فرد پذیرنده است که مستقیماً به درجه مواجهه فرد با موارد آلوده‌کننده مرتبط است. براساس رهنمودهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا این مقدار برای کودکان ۱ لیتر و برای بزرگسالان (مردان و زنان) ۲ لیتر در روز می‌باشد،F تناوب قرار گرفتن فرد پذیرنده در معرض پارامترهای آلاینده است که در پژوهش حاضر به دلیل ورود نیترات و فلوراید از طریق آب آشامیدنی ۳۶۵ d/a در نظر گرفته شد، پارامترD مدت زمان مواجهه فرد در معرض یک آلاینده خاص قرار می‌گیرد که براساس رهنمودهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا میزان آن را برای بزرگسالان (مردان و زنان)a/life time ۴۰ و برای کودکان a/life time ۶ پیشنهاد می‌شود،BW میانگین وزن برای مردان، زنان و کودکان است که به ترتیب ۷۸، ۶۵، ۱۴/۵ کیلوگرم درنظر گرفته می‌شود. T زمان متوسط است که EPA مقدار آن را برای مواد غیرسرطان‌زا، (مدت زمان مواجهه × D/a ۳۶۵) پیشنهاد می‌کند (۱).

در روش دوم میزان خطر غیر سرطان‌زایی نیترات و فلوراید برای چهار گروه سنی نوزادان، کودکان، نوجوانان و افراد بالغ براساس رابطه زیر محاسبه شد (۱۶).

$$HQ = \frac{EDI}{RFD} \qquad (۳)$$

در این رابطه (۳) نیز HQ خطر مواد غیر سرطان‌زا، EDI دوز مصرف روزانه نیترات و یا فلوراید برحسب mg/kg و RFD دوز مرجع، که میزان آن مانند رابطه اول برای نیترات و فلوراید به‌ترتیب mg/kg-d mg/kg-d ۱/۶ و mg/kg-d ۰/۰۶ است.

در رابطه ۳ مقدار EDI را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$EDI = \frac{C_f \times C_d}{BW} \qquad (۴)$$

در رابطه فوق، C_f غلظت نیترات و فلوراید در آب آشامیدنی برحسب mg/l، پارامتر C_f میانگین مصرف روزانه آب آشامیدنی است که به ترتیب برای نوزادان، کودکان، نوجوانان و افراد بالغ ۰/۰۸، ۰/۸۵، ۲، و ۲/۵ می‌باشد و BW میانگین وزن افراد که برای نوزادان ۱۰، کودکان ۱۵، نوجوانان ۵۰ و افراد بالغ ۷۸ کیلوگرم محاسبه شد.

یافته‌ها

تغییرات پارامترهای کیفی در منابع آب شرب استان گلستان

خلاصه آنالیز آماری پارامترهای فیزیکوشیمایی منابع آب شرب استان گلستان در (جدول ۱) ارائه شده است. در این جدول واحد پارامترهای اندازه‌گیری‌شده بجز هدایت الکتریکی(EC) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند و EC بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به جدول ۱، میانگین تمامی

1. USEPA

پارامترهای شیمیایی اصلی بجز بی‌کربنات در منابع آب شرب استان در محدوده استانداردهای آب شرب ایران ۱۰۵۳ و سازمان بهداشت جهانی[1] قرار دارند. حداکثر مجاز آنیون بی‌کربنات با توجه به استاندارد WHO، ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در حالی که میزان بی‌کربنات در نمونه‌های آب شرب استان بین ۱۸۰ تا ۳۳۸ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. اگرچه مقدار هدایت الکتریکی در برخی منابع به مقدار جزئی از حداکثر مجاز استانداردهای آب شرب ایران ۱۰۵۳ بیشتر می‌باشد. بطوریکه این پارامتر (که معرف شوری منابع آبی نیز می‌باشد) از ۳۷۴ میکروموس برسانتی‌متر تا ۱۵۱۷ میکروموس برسانتی‌متر برای بهار متغیر بوده است. اما در فصل پاییز حداکثر این پارامتر به ۱۵۷۶ میکروموس بر سانتی‌متر بود که اندکی از حداکثر مجاز آن در آب شرب بیشتر است.

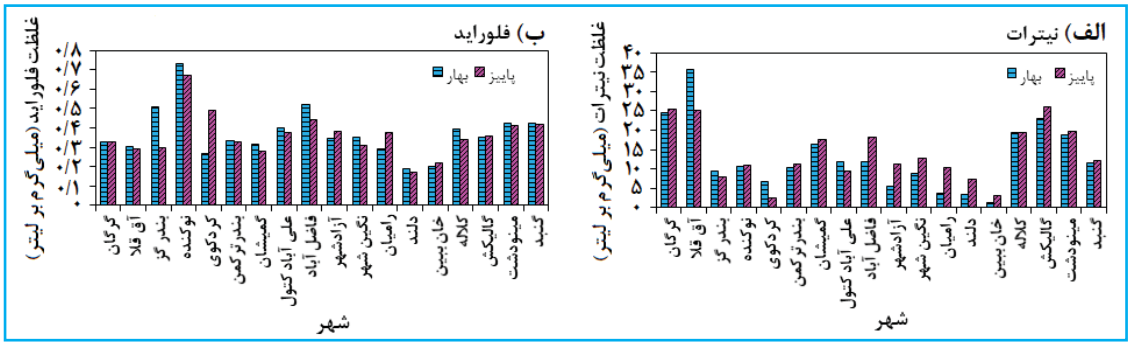
نتایج همچنین نشان داد که میزان نیترات منابع آبی استان در بهار بین ۲/۵ تا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. درحالیکه میزان این آنیون در پاییز بین ۱/۳۲ تا ۷۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. این امر بیانگر افزایش در حدود ۹ میلی‌گرم بر لیتری نیترات در فصل پاییز می‌باشد. بنظر می‌رسد با افزایش میزان شوری، مقدار نیترات هم در منابع آبی استان افزایش داشته است. اگرچه میزان حداکثر غلظت نیترات در برخی از شهرهای استان گلستان مربوط به شهر آق‌قلا بالاتر از حد مجاز استانداردهای آب شرب ایران ۱۰۵۳ و WHO (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد اما متوسط آن در تمامی شهرهای استان کمتر از استانداردهای موجود می‌باشد (نمودار ۱).

تغییرات میزان فلوراید برعکس نیترات می‌باشد. به‌طوری‌که در بهار مقدار این پارامتر بین ۰/۱۷ تا ۱/۱۴ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌کند. اما در پاییز رنج تغییرات آن در منابع آبی استان بین ۰/۰۳ تا ۱/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد. میزان تغییرات فلوراید در اکثر شهرهای استان پایین‌تر از رنج مورد نیاز براساس رهنمودهای بهداشت جهانی و استانداردهای داخلی است (۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر). این امر احتمال پوسیدگی دندان را افزایش می‌دهد. باتوجه به نمودار ۱، متوسط میزان غلظت یون فلور در شهر نوکنده برای هر دو فصل بهار و پاییز بیشتر از بقیه شهرهای استان می‌باشد.

جدول ۱. خلاصه آنالیز آماری پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب شرب استان گلستان. غلظت یون‌ها، کل جامدات محلول، سختی کل برحسب میلی‌گرم بر لیتر، هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس برسانتی متر

پارامتر	بهار			پاییز			استاندارد* WHO	استاندارد ۱۰۵۳*
	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین		
پی اچ	۶/۸۶	۸/۰۱	۰/۱۷±۷/۵	۶/۸	۷۳۸	۶۱/۷±۱۲/۲	۸	۹
کل جامدات	۱۹۹	۹۶۳	۱۴۱/۵±۴۷۵/۱	۲۰۸	۹۲۸	۱۳۵/۱±۴۵۷/۹	۱۰۰۰	۱۵۰۰
هدایت الکتریکی	۳۶۰	۱۵۷۶	۲۳۷/۶±۸۳۸	۳۷۴	۱۵۱۷	۲۲۶/۴±۸۰۶/۹	--	۱۵۰۰
سختی کل	۱۳۶	۵۳۰	۷۳/۳±۳۲۷/۹	۱۷۶	۵۰۰	۷۱/۳±۳۱۹/۵	۲۰۰	۵۰۰
کلرید	۹/۹	۳۵۸/۷	۵۸/۸±۶۹/۱	۷/۸	۳۴۷/۴	۴۹/۳±۶۲/۰۷	۲۵۰	۲۵۰
سولفات	۱۰	۳۲۰	۵۳/۸±۸۷/۲	۹	۳۱۲	۵۴±۸۷/۶	۲۵۰	۴۰۰
بیکربنات	۱۶۰	۳۳۵	۴۱/۹±۲۵۹/۲	۱۸۰	۳۳۸	۳۲/۱±۲۵۵/۴	۱۲۰	-
نیترات	۱/۳۲	۷۹	۱۳/۹±۱۷	۲/۵	۶۰	۱۲/۵±۱۵/۹	۵۰	۵۰
فسفات	۰/۰۲	۰/۶۵	۰/۰۹±۰/۲۳	۰/۰۱	۰/۶۷	۰/۱۱±۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۰۳
فلوئور	۰/۰۳	۱/۰۸	۰/۱۱±۰/۳۶	۰/۱۷	۱/۱۴	۰/۱۲±۰/۳۶	۱/۵	۱/۵
کلسیم	۳۶/۸	۱۴۴	۱۸/۷±۸۴/۵	۲۸/۸	۱۲۸	۱۹/۶±۸۳/۱	۲۰۰	۴۰۰
منیزیم	۲/۸۸	۵۷/۶	۹/۲±۲۸	۴/۸	۱۲۴۸	۱۰۳/۵±۳۵/۷	۵۰	۱۵۰
سدیم	۲	۲۰۰	۳۶/۶±۴۵/۱	۷/۳	۱۹۶	۳۳/۶±۴۱/۶	۲۰۰	۲۰۰
پتاسیم	۰/۷	۷/۶	۰/۸±۱/۵	۰/۷۵	۸/۸	۱/۱±۱/۶	۱۲	۱۲
آهن	۰/۰۱	۰/۵۳	۰/۰۵±۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۴۱	۰/۰۵±۰/۰۴	-	۰/۳
منگنز	۰/۰۰۷	۰/۳۸	۰/۰۴±۰/۰۴	۰/۰۰۸	۰/۱۵	۰/۰۳±۰/۰۴	-	۰/۴

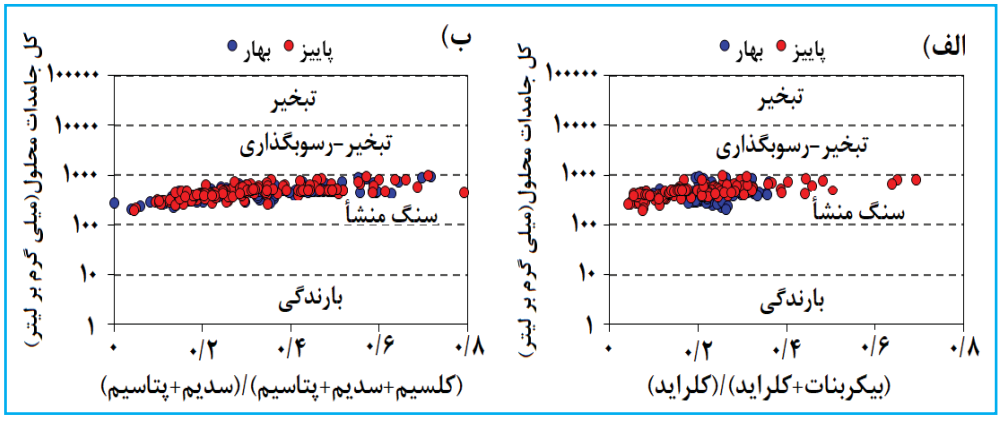
1. World Health Organization



نمودار ۱. تغییرات متوسط یون‌های نیترات (الف) و فلوراید (ب) در منابع آب شرب شهرهای استان گلستان

تعیین عوامل موثر بر شیمی منابع آب شرب استان گلستان

در این پژوهش برای تعیین عوامل موثر بر شیمی منابع آب شرب استان گلستان از نمودار گیبس استفاده شد (نمودار ۲). براساس دیاگرام گیبس مهم‌ترین عوامل طبیعی که می‌توانند شیمی آب را کنترل کنند عبارتند از: ۱) تبخیر[1]، ۲) تبخیر و رسوب‌گذاری[2]، ۳) سنگ منشأ[3] و بارندگی[4](۱۷). باتوجه به تجمع و پراکنش نمونه‌های آب شرب در دیاگرام گیبس، می‌توان دریافت که سنگ منشأ عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی منابع آب شرب استان گلستان می‌باشد. اگرچه برخی از نمونه‌ها تمایل به گذر از این منطقه و رسیدن به منطقه تبخیر و رسوب‌گذاری را دارند. این امر سبب افزایش شوری در برخی از نمونه‌ها شده است.



نمودار ۲. عوامل کنترل کننده شیمی منابع آب شرب استان گلستان

ارزیابی ریسک سلامت نیترات و فلوراید منابع آب شرب استان گلستان

براساس تقسیم‌بندی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا نیترات و فلوراید جزء گروه D مواد سرطان‌زا تقسیم‌بندی می‌شوند این امر سبب شده که این دو آنیون در بحث مخاطرات در گروه مواد غیرسرطانی ارزیابی شوند. همان‌طور که در بخش روش‌کار شرح داده شد برای ارزیابی ریسک سلامت نیترات و فلوراید منابع آب شرب استان گلستان در این پژوهش از دو روش استفاده شد که آن‌ها در فصل‌های بهار و پاییز در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

باتوجه به ارزیابی ریسک سلامت غیر سرطانی منابع آب شرب شهرهای استان گلستان در فصل بهار، ضریب خطر نیترات محاسبه شده برای تمامی شهرهای استان از روش اول برای افراد بزرگسال

1. Evaporation
2. Precipitation
3. Rock
4. Rainfall

(مردان و زنان) کوچکتر از یک می‌باشد (جدول ۲). این امر بیانگر شرایط امن برای استفاده از آب حاوی نیترات می‌باشد. در مقابل مقدار ضریب خطر نیترات محاسبه‌شده برای کودکان در برخی از شهرهای استان نظیر آق‌قلا (۱/۵۴۱) و گرگان (۱/۰۶۱) بیش از یک و در شهر گالیکش در حدود یک (۰/۹۹۴) می‌باشد. از این‌رو کودکان نسبت به بزرگسالان در این شهرها بیشتر در معرض خطر قرار دارند. در مقابل شهر خان‌ببین کمترین مقدار ضریب خطر نیترات را در بین شهرهای استان دارد(نمودار ۱). همچنین یافته‌های بدست‌آمده برای ضریب خطر نیترات از روش اول در فصل پاییز مشابه با فصل بهار می‌باشد (جدول۳). بطوریکه مقدار ضریب خطر برای بزرگسالان کمتر از یک می‌باشد. اما این مقدار برای کودکان در شهرهای آق‌قلا (۱/۰۷۷)، گرگان (۱/۰۹۹) و گالیکش (۱/۱۲۵) بیش از یک می‌باشد. نکته قابل تامل در فصل پاییز افزایش ضریب خطر در شهر گالیکش می‌باشد. بطوریکه ضریب خطر از ۰/۹۹۴ در فصل بهار به ۱/۱۲۵ در فصل پاییز افزایش یافته‌است که این امر با افزایش میزان نیترات در فصل پاییز در این شهر همخوانی دارد (نمودار ۱).

جدول۲. مقادیر ضریب خطر(HQ) برای منابع آب شرب استان در فصل بهار

شهر	ضریب خطر (روش اول)						ضریب خطر (روش دوم)					
	نیترات			فلوراید			نیترات			فلوراید		
	زنان	مردان	کودکان	زنان	مردان	کودکان	نوزادان	کودکان	نوجوانان	افراد بالغ	نوزادان	کودکان	نوجوانان	افراد بالغ
گرگان	۰/۴۳۷	۰/۳۹۵	۱/۰۶۱	۰/۱۶۷	۰/۱۳۹	۰/۳۷۳	۰/۱۲۳	۰/۸۷۲	۰/۶۱۵	۰/۴۹۳	۰/۰۴۳	۰/۳۰۷	۰/۲۱۶	۰/۱۷۳
سرخنکلاته	۰/۳۶۵	۰/۳۰۴	۰/۸۱۹	۰/۱۶۱	۰/۱۳۴	۰/۳۶۰	۰/۰۹۵	۰/۶۷۳	۰/۴۷۵	۰/۳۸۱	۰/۰۴۲	۰/۲۹۶	۰/۲۰۹	۰/۱۶۷
آق قلا	۰/۶۸۷	۰/۵۷۳	۱/۵۴۱	۰/۱۵۵	۰/۱۲۹	۰/۳۴۸	۰/۱۷۹	۱/۲۶۶	۰/۸۹۴	۰/۷۱۶	۰/۰۴۰	۰/۲۸۶	۰/۲۰۲	۰/۱۶۱
بندر گز	۰/۱۷۹	۰/۱۴۹	۰/۴۰۳	۰/۲۵۹	۰/۲۱۶	۰/۵۸۱	۰/۰۴۷	۰/۳۳۱	۰/۲۳۴	۰/۱۸۷	۰/۰۶۷	۰/۴۷۸	۰/۳۳۷	۰/۲۷۰
نوکنده	۰/۲۰۷	۰/۱۷۴	۰/۴۶۵	۰/۳۷۴	۰/۳۱۲	۰/۸۳۹	۰/۰۵۴	۰/۳۸۲	۰/۲۶۹	۰/۲۱۶	۰/۰۹۷	۰/۶۸۹	۰/۴۸۷	۰/۳۸۹
کردکوی	۰/۱۲۸	۰/۱۰۷	۰/۲۸۷	۰/۱۳۸	۰/۱۱۵	۰/۳۱۰	۰/۰۳۳	۰/۲۳۶	۰/۱۶۶	۰/۱۳۳	۰/۰۳۶	۰/۲۵۵	۰/۱۸	۰/۱۴۴
بندرترکمن	۰/۲	۰/۱۶۷	۰/۴۴۸	۰/۱۷۰	۰/۱۴۲	۰/۳۸۲	۰/۰۵۲	۰/۳۶۸	۰/۲۶	۰/۲۰۸	۰/۰۴۴	۰/۳۱۴	۰/۲۲۲	۰/۱۷۸
گمیشان	۰/۳۱۴	۰/۲۶۲	۰/۷۰۴	۰/۱۶۲	۰/۱۳۵	۰/۳۶۴	۰/۰۸۲	۰/۵۷۸	۰/۴۰۸	۰/۳۲۷	۰/۰۴۲	۰/۲۹۹	۰/۲۱۱	۰/۱۶۹
علی آباد کتول	۰/۲۲۷	۰/۱۸۹	۰/۵۰۹	۰/۲۰۳	۰/۱۶۹	۰/۴۵۶	۰/۰۵۹	۰/۴۱۹	۰/۲۹۶	۰/۲۳۷	۰/۰۵۳	۰/۳۷۵	۰/۲۶۴	۰/۲۱۲
فاضل آباد	۰/۲۲۶	۰/۱۸۹	۰/۵۰۷	۰/۲۶۷	۰/۲۲۲	۰/۵۹۸	۰/۰۵۹	۰/۴۱۷	۰/۲۹۴	۰/۲۳۶	۰/۰۶۹	۰/۴۹۱	۰/۳۴۷	۰/۲۷۸
آزادشهر	۰/۱۰۸	۰/۰۸۹	۰/۲۴۱	۰/۱۷۷	۰/۱۴۷	۰/۳۹۶	۰/۰۲۸	۰/۱۹۸	۰/۱۳۹	۰/۱۱۲	۰/۰۴۶	۰/۳۲۵	۰/۲۲۹	۰/۱۸۴
نگین شهر	۰/۱۶۷	۰/۱۳۹	۰/۳۷۵	۰/۱۷۹	۰/۱۴۹	۰/۴۰۲	۰/۰۴۳	۰/۳۰۸	۰/۲۱۷	۰/۱۷۴	۰/۰۴۷	۰/۳۳۰	۰/۲۳۳	۰/۱۸۷
رامیان	۰/۰۷۱	۰/۰۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۰	۰/۱۲۵	۰/۳۳۷	۰/۰۱۸	۰/۱۳۱	۰/۰۹۲	۰/۰۷۴	۰/۰۳۹	۰/۲۷۷	۰/۱۹۵	۰/۱۵۷
دلند	۰/۰۶۳	۰/۰۵۲	۰/۱۴۱	۰/۰۹۷	۰/۰۸۱	۰/۲۱۸	۰/۰۱۶	۰/۱۱۶	۰/۰۸۲	۰/۰۶۵	۰/۰۲۵	۰/۱۷۹	۰/۱۲۷	۰/۱۰۱
خان ببین	۰/۰۳۶	۰/۰۲۹	۰/۰۸۰	۰/۱۳۷	۰/۱۱۴	۰/۳۰۶	۰/۰۰۹	۰/۰۶۶	۰/۰۴۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۲۶۴	۰/۱۸۷	۰/۱۴۹
کلاله	۰/۳۷۴	۰/۳۱۲	۰/۸۳۸	۰/۲۰۲	۰/۱۶۸	۰/۴۵۳	۰/۰۹۷	۰/۶۸۹	۰/۴۸۶	۰/۳۸۹	۰/۰۵۲	۰/۳۷۲	۰/۲۶۳	۰/۲۱۰
گالیکش	۰/۴۴۳	۰/۳۶۹	۰/۹۹۴	۰/۱۷۹	۰/۱۴۹	۰/۴۰۲	۰/۱۱۵	۰/۸۱۹	۰/۵۷۶	۰/۴۶۲	۰/۰۴۷	۰/۳۳۰	۰/۲۳۳	۰/۱۸۷
مینودشت	۰/۳۶۲	۰/۳۰۲	۰/۸۱۱	۰/۲۱۸	۰/۱۸۲	۰/۴۸۹	۰/۰۹۴	۰/۶۶۷	۰/۴۷۱	۰/۳۷۷	۰/۰۵۷	۰/۴۰۲	۰/۲۸۴	۰/۲۲۷
گنبد	۰/۲۲۱	۰/۱۸۴	۰/۴۹۶	۰/۲۱۷	۰/۱۸۱	۰/۴۸۶	۰/۰۵۷	۰/۴۰۸	۰/۲۸۸	۰/۲۳۱	۰/۰۵۶	۰/۳۹۹	۰/۲۸۲	۰/۲۲۶
بیشترین	۰/۶۸۷	۰/۵۷۳	۱/۵۴۱	۰/۳۷۴	۰/۳۱۲	۰/۸۳۹	۰/۱۷۹	۱/۲۶۶	۰/۸۹۴	۰/۷۱۶	۰/۰۹۷	۰/۶۸۹	۰/۴۸۷	۰/۳۸۹
کمترین	۰/۰۳۶	۰/۰۲۹	۰/۰۸۰	۰/۰۹۷	۰/۰۸۱	۰/۲۱۸	۰/۰۰۹	۰/۰۶۶	۰/۰۴۷	۰/۰۳۷	۰/۰۲۵	۰/۱۷۹	۰/۱۲۷	۰/۱۰۱
متوسط	۰/۲۵۵	۰/۲۱۳	۰/۵۷۳	۰/۱۹۰	۰/۱۵۸	۰/۴۲۶	۰/۰۶۶	۰/۴۷۱	۰/۳۳۲	۰/۲۶۶	۰/۰۴۹	۰/۳۵۱	۰/۲۴۸	۰/۱۹۸

جدول ۳. مقادیر ضریب خطر(HQ) برای منابع آب شرب استان در فصل پاییز

شهر	ضریب خطر (روش اول)						ضریب خطر (روش دوم)					
	نیترات			فلوراید			نیترات					فلوراید
	زنان	مردان	کودکان	زنان	مردان	کودکان	نوزادان	کودکان	نوجوانان	افراد بالغ	نوزادان	کودکان	نوجوانان	افراد بالغ
گرگان	۰/۴۹۱	۰/۴۰۹	۱/۰۹۹	۰/۱۶۸	۰/۱۴۰	۰/۳۷۷	۰/۱۲۷	۰/۹۰۳	۰/۶۳۸	۰/۵۱۱	۰/۰۴۴	۰/۳۰۹	۰/۲۱۹	۰/۱۷۵
آق قلا	۰/۴۸۱	۰/۴۰۱	۱/۰۷۷	۰/۱۴۹	۰/۱۲۴	۰/۳۳۳	۰/۱۲۵	۰/۸۸۵	۰/۶۲۵	۰/۵۰۱	۰/۰۳۹	۰/۲۷۴	۰/۱۹۳	۰/۱۵۵
بندرگز	۰/۱۵۰	۰/۱۲۵	۰/۳۳۷	۰/۱۵۱	۰/۱۲۶	۰/۳۳۹	۰/۰۳۹	۰/۲۷۷	۰/۱۹۵	۰/۱۵۷	۰/۰۳۹	۰/۲۷۹	۰/۱۹۷	۰/۱۵۸
نوکنده	۰/۲۱۱	۰/۱۷۶	۰/۴۷۴	۰/۳۴۳	۰/۲۸۶	۰/۷۷۰	۰/۰۵۵	۰/۳۸۹	۰/۲۷۵	۰/۲۲۰	۰/۰۸۹	۰/۶۳۳	۰/۴۴۷	۰/۳۵۸
کردکوی	۰/۰۴۷	۰/۰۳۹	۰/۱۰۷	۰/۲۵۱	۰/۲۰۹	۰/۵۶۲	۰/۰۱۲	۰/۰۸۸	۰/۰۶۲	۰/۰۴۹	۰/۰۶۵	۰/۴۶۱	۰/۳۲۶	۰/۲۶۱
بندرترکمن	۰/۲۱۹	۰/۱۸۳	۰/۴۹۱	۰/۱۶۷	۰/۱۳۹	۰/۳۷۵	۰/۰۵۷	۰/۴۰۴	۰/۲۸۵	۰/۲۲۸	۰/۰۴۳	۰/۳۰۸	۰/۲۱۷	۰/۱۷۴
گمیشان	۰/۳۳۹	۰/۲۸۳	۰/۷۶۱	۰/۱۴۳	۰/۱۱۹	۰/۳۲۲	۰/۰۸۸	۰/۶۲۶	۰/۴۴۲	۰/۳۵۴	۰/۰۳۷	۰/۲۶۴	۰/۱۸۷	۰/۱۴۹
علی آباد کتول	۰/۱۸۳	۰/۱۵۲	۰/۴۱۰	۰/۱۹۳	۰/۱۶۱	۰/۴۳۲	۰/۰۴۷	۰/۳۳۷	۰/۲۳۸	۰/۱۹۱	۰/۰۵۰	۰/۳۵۵	۰/۲۵۱	۰/۲۰۱
فاضل آباد	۰/۳۵۰	۰/۲۹۲	۰/۷۸۵	۰/۲۲۶	۰/۱۸۸	۰/۵۰۶	۰/۰۹۱	۰/۶۴۵	۰/۴۵۵	۰/۳۶۵	۰/۰۵۹	۰/۴۱۵	۰/۲۹۳	۰/۲۳۵
آزادشهر	۰/۲۱۸	۰/۱۸۲	۰/۴۸۹	۰/۱۹۶	۰/۱۶۴	۰/۴۴۱	۰/۰۵۷	۰/۴۰۲	۰/۲۸۴	۰/۲۲۷	۰/۰۵۱	۰/۳۶۲	۰/۲۵۵	۰/۲۰۵
نگین شهر	۰/۲۴۶	۰/۲۰۵	۰/۵۵۲	۰/۱۵۹	۰/۱۳۲	۰/۳۵۶	۰/۰۶۴	۰/۴۵۳	۰/۳۲	۰/۲۵۶	۰/۰۴۱	۰/۲۹۳	۰/۲۰۷	۰/۱۶۵
رامیان	۰/۱۹۸	۰/۱۶۵	۰/۴۴۵	۰/۱۹۱	۰/۱۵۹	۰/۴۲۸	۰/۰۵۲	۰/۳۶۶	۰/۲۵۸	۰/۲۰۷	۰/۰۴۹	۰/۳۵۲	۰/۲۴۸	۰/۱۹۹
دلند	۰/۱۳۸	۰/۱۱۵	۰/۳۱۰	۰/۰۸۷	۰/۰۷۳	۰/۱۹۵	۰/۰۳۶	۰/۲۵۵	۰/۱۸	۰/۱۴۴	۰/۰۲۳	۰/۱۶۰	۰/۱۱۳	۰/۰۹۱
خان ببین	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰/۰۴۹	۰/۱۱۳	۰/۰۹۴	۰/۲۵۳	۰/۰۱۵	۰/۱۰۶	۰/۰۷۵	۰/۰۶۰	۰/۰۲۹	۰/۲۰۸	۰/۱۴۷	۰/۱۱۷
کلاله	۰/۳۷۶	۰/۳۱۳	۰/۸۴۲	۰/۱۷۵	۰/۱۴۶	۰/۳۹۳	۰/۰۹۸	۰/۶۹۲	۰/۴۸۸	۰/۳۹۱	۰/۰۴۶	۰/۳۲۳	۰/۲۲۸	۰/۱۸۳
گالیکش	۰/۵۰۲	۰/۴۱۸	۱/۱۲۵	۰/۱۸۵	۰/۱۵۴	۰/۴۱۴	۰/۱۳۰	۰/۹۲۵	۰/۶۵۳	۰/۵۲۳	۰/۰۴۸	۰/۳۴	۰/۲۴	۰/۱۹۲
مینودشت	۰/۳۷۶	۰/۳۱۴	۰/۸۴۴	۰/۲۱۲	۰/۱۷۷	۰/۴۷۵	۰/۰۹۸	۰/۶۹۳	۰/۴۸۹	۰/۳۹۲	۰/۰۵۵	۰/۳۹۱	۰/۲۷۶	۰/۲۲۱
گنبد	۰/۲۳۲	۰/۱۹۳	۰/۵۲۰	۰/۲۱۴	۰/۱۷۸	۰/۴۷۹	۰/۰۶۰	۰/۴۲۸	۰/۳۰۲	۰/۲۴۲	۰/۰۵۵	۰/۳۹۳	۰/۲۷۸	۰/۲۲۲
بیشترین	۰/۵۰۲	۰/۴۱۸	۱/۱۲۵	۰/۳۴۳	۰/۲۸۶	۰/۷۷۰	۰/۱۳۰	۰/۹۲۵	۰/۶۵۳	۰/۵۲۳	۰/۰۸۹	۰/۶۳۳	۰/۴۴۷	۰/۳۵۸
کمترین	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰/۰۴۹	۰/۰۸۷	۰/۰۷۳	۰/۱۹۵	۰/۰۱۲	۰/۰۸۸	۰/۰۶۲	۰/۰۴۹	۰/۰۲۳	۰/۱۶۰	۰/۱۱۳	۰/۰۹۱
متوسط	۰/۲۶۶	۰/۲۲۱	۰/۵۹۵	۰/۱۸۵	۰/۱۵۴	۰/۴۱۴	۰/۰۶۹	۰/۴۹۳	۰/۳۴۸	۰/۲۷۹	۰/۰۴۸	۰/۳۴۰	۰/۲۴۰	۰/۱۹۲

در روش دوم ارزیابی ریسک خطر نیترات برای چهار گروه سنی مختلف نوزادان، کودکان، نوجوانان و افراد بالغ تخمین زده شد (جداول ۱ و ۲). بطورکلی برای سه گروه سنی افراد بالغ، نوجوانان و نوزادان میزان ریسک خطر نیترات در فصل بهار برای تمامی شهرها کمتر از یک می‌باشد. اما برای کودکان در شهر آق‌قلا بیش از یک می‌باشد و در دو شهر گرگان و گالیکش کمتر و نزدیک یک است (جدول ۱). نتایج حاصل از این روش برای فصل بهار تا حدودی مشابهه روش اول می‌باشد. بطوریکه میزان ضریب خطر برای سه شهر آق‌قلا، گرگان و گالیکش بیشتر از دیگر شهرها می‌باشد. اگرچه مقدار ضریب خطر به لحاظ عدد کمتر از روش اول تخمین زده شده‌است. درمقابل مقدار ضریب خطر محاسبه‌شده در فصل پاییز برای تمامی شهرهای استان کمتر از یک می‌باشد که این امر بیانگر امن بودن آب شرب به لحاظ محتوای نیترات برای تمامی سنین است.

در پژوهش حاضر ارزیابی ریسک سلامت غیر سرطانی فلوراید برای منابع آب شرب شهرهای استان گلستان در بهار و پاییز انجام شد . ضریب خطر فلوراید محاسبه شده برای تمامی شهرهای استان از روش اول برای بهار و پاییز کمتر از یک می‌باشد. اگرچه میزان آن برای کودکان به مراتب بیشتر از افراد بزرگسال می‌باشد. بطوری که ضریب خطر فلوراید برای کودکان در فصل بهار بین ۰/۲۱۸ (برای شهر دلند) تا ۰/۸۳۹ (برای شهر نوکنده) متغیر است. در فصل پاییز نیز این ضریب خطر برای کودکان مشابه بهار می‌باشد. اگرچه میزان آن کمی نسبت به بهار کاهش یافته است.

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سلامت غیر سرطانی فلوراید با استفاده از روش دوم برای منابع آب شرب شهرهای استان گلستان در بهار و پاییز برای تمامی گروه‌های سنی نوزادان، کودکان، نوجوانان و افراد بالغ کمتر از یک می‌باشد که این نتایج با یافته‌های روش اول همسو می‌باشد. در این روش هم میزان ضریب خطر در گروه سنی کودکان بیش از بقیه گروه‌ها می‌باشد. همچنین در گروه سنی کودکان میزان ضریب خطر در شهرهای نوکنده و دلند به ترتیب بیشتر و کمترین مقدار می‌باشد(جداول ۲ و ۳).

بحث

نتایج تغییرات پارامترهای کیفی در منابع آب شرب استان گلستان نشان‌داد که میانگین تمامی پارامترهای شیمیایی اصلی بجز بی‌کربنات در منابع آب شرب استان در محدوده استانداردهای آب شرب ایران ۱۰۵۳ و WHO قرار دارند. غالب بودن غلظت آنیون بی‌کربنات در منابع آب شرب استان گلستان می‌تواند به‌دلیل نزدیکی چاه‌های آب شرب به جبهه کوهستان یعنی منطقه تغذیه آب زیرزمینی باشد. این امر همچنین باعث شده تا مقدار هدایت الکتریکی در برخی از منابع آب شرب در حدود مقادیر استانداردهای داخلی یا خارجی باشد و یا به مقدار جزئی از حداکثر مجاز استانداردهای آب شرب ایران ۱۰۵۳ (۱۵۰۰میکروموس بر سانتی‌متر) بالاتر باشد. نتایج همچنین نشان داد که در فصل پاییز به‌دلیل برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و در پی آن کاهش حجم ذخیره آبخوان غلظت املاح موجود در آب به مقدار جزئی افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش مقدار هدایت الکتریکی شده است.

نتایج همچنین نشان داد که میزان حداکثر غلظت نیترات در برخی از شهرهای استان گلستان بالاتر از حد مجاز استانداردهای آب شرب ایران ۱۰۵۳ و WHO (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد اما متوسط آن در تمامی شهرهای استان کمتر از استانداردهای موجود می‌باشد. از آنجایی‌که غلظت نیترات وابسته به فعالیت‌های انسانی است، همجواری‌شهرها با زمین‌های کشاورزی و نبود سیستم جمع‌آوری فاضلاب‌های شهر دو عامل اصلی در افزایش میزان نیترات در منابع آبی برخی از شهرها می‌باشد. همچنین میزان نیترات منابع آبی استان در پاییز نسبت به فصل بهار افزایش داشته است. این امر به‌دلیل آبشویی کودهای ازته استفاده شده در زمین‌های کشاورزی می‌باشد.

تغییرات میزان فلوراید برعکس نیترات می‌باشد. بطوریکه غلظت آن در فصل بهار بیشتر از فصل پاییز می‌باشد. میزان تغییرات فلوراید در اکثر شهرهای استان پایین‌تر از میزان مورد نیاز براساس رهنمودهای بهداشت جهانی و استانداردهای داخلی است (۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر). اصولا منبع اصلی ورود فلوراید در آب زیرزمینی را می‌توان در فعالیتهای آتشفشانی مرتبط با تشکیل شکاف و هوازدگی شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی جستجو کرد(۲۰). از آنجایی‌که فعالیت آتشفشانی شاخصی در استان گلستان وجود ندارد، پایین بودن غلظت فلوراید در آب‌های زیرزمینی استان بدیهی به‌نظر می‌رسد. اگرچه این امر احتمال پوسیدگی دندان را در ساکنین استان افزایش می‌دهد. همچنین، متوسط میزان غلظت یون فلور در شهر نوکنده برای هر دو فصل بهار و پاییز بیشتر از بقیه شهرهای استان می‌باشد. فراوانی سنگ‌های آهکی فلوئوردار و وجود برخی توده‌های نفوذی آذرین محلی در ارتفاعات مشرف به به شهر نوکنده و ارتباط آب زیرزمینی شهر با این تشکیلات زمین‌شناسی مذکور می‌تواند دلیلی بر بالا بودن غلظت فلوراید در آب زیرزمینی این شهر باشد. این نتایج با یافته‌های قره‌محمودلو و همکاران (۷) و همچنین لیو همکاران (۱۹) مبنی بر افزایش غلظت فلوراید در برخی از مناطق دارای تشکیلات آهکی هم‌خوانی دارد.

باتوجه به تجمع و پراکنش نمونه‌های آب شرب در دیاگرام گیبس، می‌توان دریافت که سنگ منشأ (واکنش بین آب و سنگ) عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی منابع آب شرب استان گلستان می‌باشد. اگرچه در برخی از منابع آبی به‌دلیل افزایش شوری تمایل به گذر از این منطقه و رسیدن به منطقه تبخیر و رسوب‌گذاری دیده می‌شود. نفوذ آب شور از لایه‌های تحتانی به‌دلیل برداشت بی‌رویه

از آبخوان‌های آب شیرین و در پی‌آن برهم خوردن تعادل بین آب شور و شیرین عامل اصلی این تغییر روند می‌باشد. این یافته‌ها با نتایج هیدروژئوشیمیایی پاکدل و همکاران (۱۴)، قره محمودلو و شیرزادنیا (۲۱) مبنی بر غالب بودن فرآیند واکنش آب–سنگ (هوازدگی سنگ منشا آب‌های زیرزمینی) در آبخوان‌های دشت گرگان کاملا همسو می‌باشد.

براساس نتایج ارزیابی ریسک سلامت غیرسرطانی منابع آب شرب شهرهای استان گلستان در فصل بهار، ضریب خطر نیترات محاسبه شده برای تمامی شهرهای استان از روش اول برای افراد بزرگسال (مردان و زنان) کوچکتر از یک می‌باشد. این امر بیانگر شرایط امن برای استفاده از آب حاوی نیترات می‌باشد. این نتایج با یافته‌های شیائوسی و همکاران (۱۸) و نیک‌بخت و همکاران (۱۰) همسو می‌باشد. در مقابل مقدار ضریب خطر نیترات محاسبه شده برای کودکان در برخی از شهرهای استان نظیر آق‌قلا و گرگان بیش‌از یک و در شهر گالیکش در حدود یک می‌باشد. از این‌رو کودکان نسبت به بزرگسالان در این شهرها بیشتر در معرض خطر قرار دارند. این یافته‌ها نیز با یافته‌های شیائوسی و همکاران (۱۸) و نیک‌بخت و همکاران (۱۰) مطابقت دارد. در مقابل شهر خان‌ببین کمترین مقدار ضریب خطر نیترات را در بین شهرهای استان دارد. نتایج بدست آمده در این بخش با مقدار نیترات شهرهای مختلف استان هم‌خوانی دارد. همچنین یافته‌های بدست آمده برای ضریب خطر نیترات از روش اول در فصل پاییز مشابه به فصل بهار می‌باشد. بطوری‌که مقدار ضریب خطر برای بزرگسالان کمتر از یک می‌باشد. اما این مقدار برای کودکان در شهرهای آق‌قلا، گرگان و گالیکش بیش از یک می‌باشد. همچنین افزایش قابل تامل ضریب خطر در فصل پاییز در شهر گالیکش با افزایش میزان غلظت نیترات در این شهر هم‌خوانی دارد. نتایج این پژوهش با یافته‌های پیراسته و همکاران مبنی بر اینکه میزان خطر ریسک غیر سرطان‌زایی در گروه کودکان بیشتر از زنان و مردان می‌باشد همسو می‌باشد(۱۱).

نتایج روش دوم ارزیابی ریسک خطر نیترات نشان داد میزان ضریب خطر علاوه بر افراد بالغ برای نوجوانان و نوزادان نیز در فصل بهار برای تمامی شهرها کمتر از یک می‌باشد. اما برای کودکان در شهر آق‌قلا بیش از یک می‌باشد و در دو شهر گرگان و گالیکش کمتر و نزدیک یک است. از این‌رو نتایج حاصل از این روش برای فصل بهار تا حدودی مشابه روش اول می‌باشد. بطوری‌که میزان ضریب خطر برای سه شهر آق‌قلا، گرگان و گالیکش بیشتر از دیگر شهرها است. اگرچه مقدار ضریب خطر به لحاظ عدد کمتر از روش اول تخمین زده شده است. درمقابل مقدار ضریب خطر محاسبه‌شده در فصل پاییز برای تمامی شهرهای استان کمتر از یک می‌باشد که این امر بیانگر امن بودن آب شرب به لحاظ محتوای نیترات برای تمامی سنین است.

ضریب خطر فلوراید محاسبه‌شده برای تمامی شهرهای استان از روش اول برای بهار و پاییز کمتر از یک می‌باشد. اگرچه میزان آن برای کودکان به مراتب بیشتر از افراد بزرگسال می‌باشد. در فصل پاییز نیز این ضریب خطر برای کودکان مشابه بهار می‌باشد. اگرچه میزان آن کمی نسبت به بهار کاهش یافته است. نتایج حاصل از ارزیابی ریسک سلامت غیر سرطانی فلوراید با استفاده از روش دوم برای منابع آب شرب شهرهای استان گلستان در بهار و پاییز برای تمامی گروه‌های سنی نوزادان، کودکان، نوجوانان و افراد بالغ کمتر از یک می‌باشد که این نتایج با یافته‌های روش اول همسو می‌باشد. در این روش هم میزان ضریب خطر در گروه سنی کودکان بیش از بقیه گروه‌ها می‌باشد. همچنین در گروه سنی کودکان میزان ضریب خطر در شهرهای نوکنده و دلند به ترتیب بیشتر و کمترین مقدار می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج هیدروژئوشیمی منابع آب شرب استان گلستان نشان داد که میانگین تمامی پارامترهای شیمیایی اصلی بجز بی‌کربنات در منابع آب شرب استان در محدوده استانداردهای آب شرب ایران ۱۰۵۳ و WHO قرار دارند و سنگ منشأ (واکنش بین آب و سنگ) عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی منابع آب شرب استان گلستان می‌باشد. علاوه بر این، فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی، نبود

سیستم جمع‌آوری فاضلاب و نشت از چاه‌های جذبی عامل اصلی افزایش غلظت نیترات در برخی از منابع آبی استان گلستان می‌باشد. در مقابل نبود فعالیت‌های آتشفشانی شاخص در استان باعث شده است که میزان غلظت فلوراید در اکثر شهرهای استان پایین‌تر از رنج مورد نیاز براساس رهنمودهای بهداشت جهانی و استانداردهای داخلی باشد.

نتایج ارزیابی ریسک سلامت غیرسرطانی منابع آب شرب شهرهای استان گلستان نشان داد که میزان ضریب خطر نیترات محاسبه شده از هر دو روش استفاده‌شده در این پژوهش برای افراد بزرگسال (مردان و زنان) کوچکتر از یک می‌باشد. این امر بیانگر امن بودن آب شرب به لحاظ محتوای نیترات برای این سن است. در مقابل میزان این ضریب برای کودکان در سه شهر آق‌قلا، گرگان و گالیکش بیش از یک می‌باشد. از این‌رو استفاده دراز مدت از آب این سه شهر نگران‌کننده است و می‌بایست تدابیری برای این حل این مشکل درنظر گرفته شود. مدیریت زه‌آب‌های کشاورزی، جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب‌های خانگی و شهری، پایش غلظت نیترات در نقاط مختلف سیستم شبکه توزیع آب شرب شهرهای مذکور و یا حذف نیترات در نقطه مصرف مهم‌ترین اقداماتی است که برای این سه شهر پیشنهاد می‌شود.

ضریب خطر فلوراید محاسبه‌شده برای تمامی شهرهای استان از هر دو روش بهار و پاییز کمتر از یک می‌باشد. اگرچه میزان آن برای کودکان در هر دو روش به مراتب بیشتر از افراد دیگر می‌باشد. همچنین در گروه سنی کودکان میزان ضریب خطر در شهرهای نوکنده و دلند به ترتیب بیشتر و کمترین مقدار می‌باشد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند، همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از اداره آب و فاضلاب استان گلستان برای در اختیار گذاشتن اطلاعات کیفی منابع آب شرب کمال تشکر را دارند.

References

1. Salarvand A. Varvani J. Baghaie AH. Abdi N. Chamanpira R. Groundwater vulnerability potential and Health-risk assessment related to nitrate and nitrite in drinking water in Azna-Aligudarz Plain. Yafteh 2021;23(3):89-105. (In Persian) https://doi.org/10.32592/Yafteh.2021.23.3.9
2. Ghareh Mahmoodlu M. Raghimi M. Sayadi M. Ahmadi F. Ramezani Mojaveri M. Quality of Iranian, foreign packaged drinking waters and municipal drinking water in Golestan Province, north of Iran. J Gorgan Univ Med Sci 2021; 22(4): 112-122. (In Persian)
3. Chitsazan M. Eilbeigy M. Rezapour Tabari MM. Evaluation of groundwater nitrate pollution based on main components and factor analysis (Case Study: Karaj Plain Aquifer). Iranian Journal of Echohydrology, 2019; 5(4): 1119-1133. (In Persian) https://doi.org/10.22059/ije.2018.256758.870
4. Moratalla A. Gómez -Alday JJ. De las Heras J. Sanz D. Castaño S. Nitrate in the water-supply wells in the Mancha Oriental hydrogeological system (SE Spain). Water Resour Manag 2009; 23:1621-1640. https://doi.org/10.1007/s11269-008-9344-7
5. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality. 3rd edition: 2nd addendum. Recommendations. Geneva: WHO 2008; 1, ISBN 978 92 4 154760.
6. Zamand S. Alidadi H. Taghavimanesh V. Investigation the amount of fluoride in drinking water sources in urban and rural areas of Neyshabur in 2017. Journal of Research in Environmental Health 2018; 4(2):146-153. (In Persian) https://doi.org/10.22038/jreh.2018.32598.1225.
7. Ghareh Mahmoodlu M. Raghimi M. Ramezani Mojaver M. Investigating the relationship between the fluoride concentration in groundwater and spatial distribution of loess deposits in the Gorgan Plain. Journal of Research in Environmental Health 2023; 8(4): 378-391. (In Persian). https://doi.org/10.22038/jreh.2023.68388.1556
8. World Health Organization (WHO). World Water Day 2001: Oral Health. Geneva: WHO; 2001. https://web.archive.org/web/20081007142428/https://www.who.int/water_sanitation_health/en/oralhealth.htm.
9. Aggeborn L. Öhman M. The effects of fluoride in drinking water. J Pol Econ 2021; 129(2):465-49. https://doi.org/10.1086/711915
10. Nikbakht M. Rezaei M. Shakeri A. Health risk assessment of fluoride and nitrate in Lar area, south Iran. J Environ Geol 2017; 10(37):85-96. (In Persian)
11. Pirasteh K. Bazrafshan E. Ashrafi SD. Hosseini AR.

Meshkininan A. Kord Mostafapour F. Kamani H. 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. (In Persian)

12. Nawale VP. Malpe DB. Marghade D. Yenkie R. Non-carcinogenic health risk assessment with source identification of nitrate and fluoride polluted groundwater of Wardha sub-basin, central India. Ecotoxicology and Environmental Safety 2021; 208, p.111548. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111548 PMid:33396092
13. Alam I. Rehman JU. Nazir S. Nazeer A. Akram M. Batool Z. Ullah H. Hameed A. Hussain A. Hussain A. Tahir MB. Health risk assessment in different age-group due to nitrate, fluoride, nitrite and geo-chemical parameters in drinking water in Ahmadpur East, Punjab, Pakistan. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 2021; 27(7):1747-1763. (In Persian) https://doi.org/10.1080/10807039.2021.1902264
14. Pakdel M. Ghareh Mahmoodlu M. Jandaghi N. Fathabadi A. Nick Ghojogh Y. Extraction effect of deep and semi-deep wells on water table decline and groundwater quality parameters in Gorgan Plain, Iranian Journal of Geology 1401; 16(64): 65-84. (In Persian)

https://dorl.net/dor/20.1001.1.17357128.1401.16.64.5.8

15. United States Environmental Protection Agency (USEPA). A risk assessment- Multi way exposure Spreadsheet calculation tool. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency; 2013.
16. ShalyariN.AlinejadA.HashemiAHG.RadFardM.DehghaniM. Health risk assessment of nitrate in groundwater resources of Iranshahr using Monte Carlo simulation and geographic information system (GIS). MethodsX 2019; 6: 1812-1821. https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.07.024 PMid:31799130 PMCid:PMC6881658
17. Gibbs RJ. Mechanisms controlling world water chemistry. Science 1970; 170(3962):1088-90. https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088 PMid:17777828
18. Xiaosi Su. Huang W. Yuling Z. Health risk assessment of nitrate contamination in groundwater, A case study of an agricultural area in Northeast china, Water Resour Manag 2013; 3025-3034, https://doi.org/10.1007/s11269-013-0330-3
19. Liu RP. Zhu H. Liu F. Dong Y. El-Wardany RM. Current situation and human health risk assessment of fluoride enrichment in groundwater in the Loess Plateau: A case study of Dali nty, Shaanxi Province, China. China Geology 2021; 4(3):487- 497. https://doi.org/10.31035/cg2021051
20. Salehi Seifabadi F. Taheri Tizro A. Ebrahimi R. Farajy F. Groundwater quality variations with reference to fluoride in KabudarAhang plain of Hamadan province. New Findings in Applied Geology 2023; 17(34): 99-113
21. Ghareh Mahmoodlu M. Shirzadnia J. Hydrogeochemical characteristics assessment of springs and wells in the east of Gorgan plain, Quarterly Journal of Environmental Erosion Research 2023; 3(51): 212-238. (In Persian) http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1402.13.3.11.7