2024, Vol.11, No.2, Pages 77 to 86
Journal of Water and Sustainable Development

سال یازدهم، شماره ۲، ۱۴۰۳، صفحات ۷۷ تا ۸۶
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Investigating the Threatening Pollution of the Drinking Water Distribution Network (Case Study: Astara City)

M. Golshan

Ph.D. Graduated, Watershed Management, Department of Natural Resources, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Email: m.naghavi@urmia.ac.ir

Received: 17-01-2024 Revised: 25-05-2024
Accepted: 29-06-2024 Available Online: 20-09-2024

بررسی آلودگی‌های تهدیدکننده شبکه توزیع آب شرب (مطالعه موردی: شهرستان آستارا)

محمد گلشن

دانش‌آموخته دکتری آبخیزداری، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

E-Mail: m.golshan@sanru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰

Abstract

Considering the increase in population and the development of urban and rural communities, it is very important to check the quality of urban drinking water. Baharestan watershed supplies most of the drinking water of Astara city with a population of 91,257 people. In this research, based on laboratory investigations and the Water Safety Plan (WSP), an assessment was conducted on the unintended changes in water quality and the evaluation of the water supply system in this city. For this purpose, after the field visit, the sampling points were determined and samples were taken by depth integration method in three seasons: spring, summer, and autumn. In the sampling points, water quality parameters including sodium, magnesium, calcium, phosphate, nitrate, nitrite, bicarbonate, manganese, iron, chemical oxygen demand, biological oxygen demand, overall digestive form, dissolved oxygen, acidity, electrical conductivity, and total hardness were determined. According to the results, the region's water quality index (IRWQI) was calculated. The results of water quality measurement in the sampling areas showed that the water of this river has no problem in terms of drinking water. The parameter of iron (Fe) with a value of 6.88 mg/liter in the Mashand branch, which has the most sources of pollution, is more than the permissible limit, which indicates the priority of carrying out control and correction measures in this branch. The value of the IRWQI index was equal to 60.33, which indicates the relatively good water condition of the region. Also, the review of WSP results showed that team formation with a score of 65% has the highest score and the average score of this plan in Astara city is 33.64, which means that by completing the WSP plan and preventing pollution from entering the river water, better quality drinking water can be provided to the citizens.

Keywords: Drinking, Health, Quality Measurement, Sampling.

چکیده

با توجه به افزایش جمعیت و توسعه جوامع شهری و روستایی، بررسی کیفیت آب شرب شهری، اهمیت بسیار بالایی دارد. حوزه آبخیز بهارستان تأمین‌کننده بخش اعظم آب شرب شهرستان آستارا با جمعیت ۹۱۲۵۷ نفر می‌باشد. در این تحقیق براساس مطالعات آزمایشگاهی و برنامه ایمنی آب WSP اقدام به بررسی تغییرات ناخواسته کیفیت آب و ارزیابی سیستم آب‌رسانی این شهرستان شد. برای این منظور پس از بازدید میدانی، نقاط نمونه‌برداری تعیین شده و در سه فصل بهار، تابستان و پاییز برداشت نمونه با روش انتگراسیون عمقی انجام شد. در نقاط نمونه‌برداری پارامترهای کیفیت آب شامل سدیم، منیزیم، کلسیم، فسفات، نیترات، نیتریت، بی‌کربنات، منگنز، آهن، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، کلی فرم گوارشی، اکسیژن محلول، میزان اسیدیته، هدایت الکتریکی و سختی کل، تعیین شدند. باتوجه به نتایج به‌دست آمده، شاخص کیفیت آب (IRWQI) منطقه محاسبه شد. نتایج کیفیت‌سنجی آب در مناطق نمونه‌برداری نشان داد که آب این رودخانه از لحاظ آب شرب مشکلی ندارد. پارامتر آهن (Fe) با ارزش ۶/۸۸ میلی‌گرم بر لیتر در سرشاخه مشند که دارای بیشترین منابع آلودگی است، بیشتر از حد مجاز بود که نشان‌دهنده اولویت انجام اقدامات کنترلی و اصلاحی در این سرشاخه است. ارزش شاخص IRWQI برابر با ۶۰/۳۳ به‌دست آمد که نشان‌دهنده وضعیت به‌نسبت خوب آب منطقه می‌باشد. همچنین بررسی نتایج WSP نشان داد که تشکیل تیم با امتیاز ۶۵ درصد دارای بیشترین امتیاز بوده و امتیاز متوسط این برنامه در شهرستان آستارا ۳۳/۶۴ می‌باشد که با تکمیل برنامه WSP و ممانعت از ورود آلودگی به آب رودخانه، می‌توان آب آشامیدنی با کیفیت‌تر را در اختیار شهروندان قرار داد.

واژه‌های کلیدی: شرب، سلامتی، کیفیت‌سنجی، نمونه‌برداری.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Golshan, M. (2024). Investigating the Threatening Pollution of the Drinking Water Distribution Network (Case Study: Astara City). Journal of Water and Sustainable Development, 11(2), 77-86. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v11i2.2401-1306

مقدمه

توسعه انسانی و رشد فزاینده صنعت و کشاورزی در دهه‌های اخیر موجب افزایش نیاز به آب شده و جوامع مختلف انسانی را با چالش جدی نقصان منابع آبیِ باکیفیت مواجه ساخته است. استفاده و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی، ضمن کاهش ذخایر سفره‌های آب زیرزمینی، منجربه کاهش کیفیت و افزایش هزینه بهره‌برداری آب شده‌است. این موضوع در اکثر کشورهای جهان از جمله کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مانند ایتالیا، ژاپن، انگلستان، چین، تایلند، تایوان، مکزیک، آمریکا، هندوستان، ازبکستان و آذربایجان نیز گزارش شده است (شاهی‌دشت و عباس‌نژاد، ۱۳۸۹).

کاهش کیفیت آب آشامیدنی منتج از عوامل طبیعی از جمله خشک‌سالی و سازندهای زمین و عوامل غیرطبیعی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی می‌باشد (Rahman و همکاران، ۲۰۲۳؛ Unigwe و Egbueri، ۲۰۲۳). مخاطرات طبیعی معمولاً به دو دسته خطرات مرتبط با زمین از جمله زمین‌لرزه، فوران آتشفشانی، سونامی، زمین‌لغزش و فرونشست و مخاطره خطرات مرتبط با هیدرولوژی و هواشناسی از جمله سیل، فرسایش ساحلی، تندباد یا طوفان موسمی، درجه حرارت شدید، طوفان، موج‌های طوفانی، خشک‌سالی و آتش‌سوزی تقسیم می‌شوند (Bosher، ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر نه تنها کمیت آب بلکه کیفیت آن نیز مورد توجه بوده و تحقیقات علمی نشان دادند که بسیاری از امراض‌ها منتج از کیفیت نامناسب آب است. بنابراین هزینه‌هایی که در برنامه‌های تأمین آب سالم صرف می‌شود، سرمایه‌گذاری مناسبی است که باتوجه به ارتقاء سطح سلامت مردم با سود بسیار زیادی همراه است (ولی‌نژاد، ۱۳۸۹). خشک‌سالی نیز به‌عنوان یک مسأله محیطی و بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات آب و هوایی است که در سال‌های اخیر موجب ایجاد نگرانی در بسیاری از کشورهای جهان در بحث تأمین آبِ در دسترس شرب، شده‌است (Anik و همکاران، ۲۰۲۳؛ Huang و همکاران، ۲۰۲۲). تأمین آب شرب سالم در جامعه انسانی، یکی از اهداف مهم است و رسیدن به توسعه و پیشرفت با سلامت افراد جامعه ارتباط نزدیکی دارد. مشخص است که سلامتی انسان، به آب شرب مناسب وابسته است (Shaibur و همکاران، ۲۰۲۴). سازمان جهانی بهداشت (WHO[1]) در سال ۲۰۰۴ برنامه‌های WSPs[2] را به‌عنوان وسیله‌ای برای اطمینان از ایمنی آب آشامیدنی ارائه داد (WHO، ۲۰۰۴). نظارت بر شبکه تأمین و توزیع آب شرب باعث حذف یا جایگزینی مسئولیت تأمین‌کنندگان آب شرب نمی‌شود، تا اطمینان حاصل گردد که سیستم تأمین آب آشامیدنی از کیفیت قابل قبول برخوردار است و به اهداف مرتبط با سلامت از پیش تعیین‌شده دست می‌یابد (WHO، ۲۰۰۵). مطالعات قبلی نشان دادند که دسترسی به آب شرب سالم، عامل مهمی در کاهش فقر جامعه است (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۸). در حال حاضر، حدود ۱۵۰ میلیون نفر از جمعیت شهرها در سطح کره زمین با کمبود آب مواجه هستند که نشان‌دهنده دسترسی کم جامعه بشری به آب است (Rocha-Melogno و همکاران، ۲۰۱۹). منابع آب در ایران به‌دلایل مختلف از جمله بهره‌برداری و استحصال بدون برنامه و مدیریت نشده همواره در معرض آلودگی و با کاهش کیفیت همراه بوده است (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۸). کیفیت آب از نظر آلودگی میکروبی و فیزیکوشیمیایی، می‌تواند تأثیر بالایی بر سلامت جامعه داشته باشد. مصرف رو به رشد در تمامی عرصه‌های مصرف، باعث تغییر و کاهش کیفیت آب شده است (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۸). در حال حاضر حدود ۲۹ میلیارد متر مکعب از پساب‌های کشاورزی و شهری و صنعتی کنترل نشده وجود دارد که به‌عنوان تهدید جدی برای کاهش کیفیت منابع آب است (روزبهایی و همکاران، ۱۳۹۲). طرح‌های ایمنی آب (WSP[3]) به‌منظور اطمینان از تحویل آب آشامیدنی سالم یک رویکرد مدیریت ریسک سیستماتیک بین‌المللی برای بهبود کیفیت آب از منبع تا مصرف را ارائه می‌دهد (Priadi و همکاران، ۲۰۲۴). برای دستیابی به اهداف سازمان بهداشت جهانی ((WHO لازم است تمامی سازمان‌های مربوط در کمیت و کیفیت آب و همه ذینفعان مشارکت فعال داشته باشند (Rahman و همکاران، ۲۰۲۳).

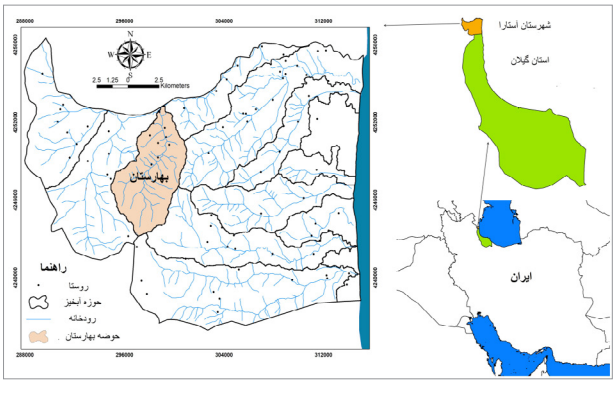
طبق مطالعات صورت گرفته مخاطرات تغییرات اقلیمی (جهانگیر و همکاران، ۱۴۰۰؛ جعفری، ۱۳۹۱)، مخاطره فرسایش ساحلی (خوشروان و همکاران، ۱۳۹۶)، مخاطره آتش‌سوزی (اسکندری و همکاران، ۱۴۰۲)، مخاطره زمین‌لغزش (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲) و مخاطره زیست‌محیطی (عطایی، ۱۳۹۲؛ حاجی‌امیری، ۱۳۹۲) تهدیدکننده جوامع و منابع طبیعی این شهرستان می‌باشد که در این تحقیق نیز به بررسی مخاطرات کیفیت آب آشامیدنی با استفاده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی و بهره‌گیری از برنامه WSP و شاخص IRWQI[4] پرداخته شده است. باتوجه به پژوهش انجام شده، کیفیت آب رودخانه بهارستان که تأمین‌کننده آب شرب شهرستان آستارا است، دارای وضعیت مناسبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان آستارا با مساحت ۵۰۰۰۰ هکتار، طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ دارای ۹۱۲۵۷ جمعیت ساکن است که در غرب استان گیلان واقع شده و دارای کاربری غالب جنگل طبیعی می‌باشد.

روستاهای واقع در این زیرحوضه به‌صورت پراکنده می‌باشند که ساکنین آن‌ها برای امرار معاش به کشاورزی و دامداری وابسته هستند. از لحاظ مدیریت منابع آب شرب شهرستان آستارا، حوزه‌آبخیز بهارستان اهمیت بسیار بالایی دارد و تأمین‌کننده آب شرب ساکنین این شهرستان می‌باشد. موقعیت این حوزه‌آبخیز در شکل (۱) ارائه شده است. باتوجه به سکونت جوامع انسانی در این حوزه‌آبخیز و قابلیت جذب گردشگری، این حوزه‌آبخیز پتانسیل آلودگی آب را دارد.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲- تعیین نقاط نمونه‌گیری

جهت تعیین مناطق نمونه‌برداری، اقدام به بازدید از حوزه‌آبخیز بهارستان شد تا منشأ آلودگی مشخص و مناسب‌ترین منطقه جهت نمونه‌برداری تعیین شود. در بازدید صورت گرفته منابع آلودگی از جمله محل دفع فضولات دامی، زباله و محل سرویس‌های بهداشتی مورد توجه قرار گرفتند. در شکل (۲) نمونه منشأ آلودگی آب منطقه ارائه شده است. با توجه به واقع شدن منشأ آلودگی‌ها در مجاورت شبکه آبراهه‌ای، آلودگی‌ها به رودخانه اصلی انتقال می‌یابد.

شکل ۲- بازدید از منشا آلودگی شبکه رودخانه‌ای بهارستان

سه سایت نمونه‌برداری از بالادست حوزه‌آبخیز به‌طرف پایین‌دست انتخاب شدند. در سایت‌های نمونه‌برداری براساس مطالعات انجام شده (سعیدپور و سادات‌مدنی بروجنی، ۱۳۹۵؛ کاویان و همکاران، ۱۳۹۵) هر آزمایش به‌صورت تصادفی سه بار تکرار شدند و میانگین آزمایشات به‌عنوان نتیجه آزمایش در نظر گرفته شدند. در سایت‌های نمونه‌برداری، آزمایشات در سه فصل بهار، تابستان و پاییز تکرار شدند. بطری‌های نمونه‌برداری آب با محلول اسید نیتریک رقیق، شست‌شو داده شده و با آب مقطر آب‌کشی و خشک شدند تا آلودگی‌های بطری در نتایج فیزیک و شیمیایی نمونه‌های آب تأثیر نداشته باشند (سعیدپور و سادات‌مدنی بروجنی، ۱۳۹۵). روش نمونه‌برداری به‌صورت گرفتن نمونه آب به روش انتگراسیون عمقی انجام شد. در این روش ظرف نمونه‌برداری باسرعت ثابت در آب وارد و با همان سرعت خارج می‌شود (کاویان و همکاران، ۱۳۹۵). نمونه‌های برداشت شده بلافاصله به آزمایشگاه دانشگاه محقق اردبیلی انتقال یافتند. براساس مطالعات انجام شده (Egbueri و Unigwe، ۲۰۲۳؛ Rahman و همکاران، ۲۰۲۳؛ Lipps و همکاران، ۲۰۲۳؛ کماکلی و همکاران، ۱۴۰۱) مهمترین پارامترهای تأثیرگذار در کیفیت آب آشامیدنی شامل سدیم (Na)، منیزیم (mg^{+2})، کلسیم (Ca^{+2})، فسفات (ph^{3}_{4})، نیترات (No3)، نیتریت (NO2)، بی‌کربنات (HCO3)، منگنز (Mn)، آهن (Fe)، اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD)، کلی فرم گوارشی (FC)، اکسیژن محلول (DO)، میزان اسیدیته (PH)، هدایت الکتریکی (EC) و سختی کل (TDS) انتخاب و بررسی شدند تا روند تغییرات کیفیت آب در مسیر رودخانه مشخص شود.

۳- محاسبه شاخص کیفیت آب (IRWQI)

پارامترهای مورد نیاز برای این شاخص، شامل نیترات، کلیفرم مدفوعی، هدایت الکتریکی، سختی کل، نسبت جذب سدیم، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، فسفات، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، اسیدیته و اکسیژن محلول می‌باشند. اکسیژن محلول به درصد اشباع می‌باشد. برحسب وزن هر پارامتر و منحنی‌های رتبه‌بندی مقدار شاخص پارامتر محاسبه و با استفاده از رابطه (۱) مقدار IRWQI تعیین شد (Zamani-Ahmadmahmoodi و همکاران، ۲۰۲۳).

$$IRWQI_{SC} = \left[\prod_{i=1}^{n} I_i^{Wi}\right]^{1/\gamma} \quad (۱)$$

که در آن γ از طریق رابطه زیر مشخص شد و Wi وزن پارامتر i ام، n تعداد پارامترها، Ii مقدار شاخص برای پارامتر iام از منحنی رتبه‌بندی می‌باشد.

$$\gamma = \sum_{i=1}^{n} Wi \quad (۲)$$

در نهایت با استفاده از مقدار شاخص IRWQI و رده‌بندی ارائه شده در جدول (۱)، می‌توان کیفیت آب را بررسی کرد.

جدول ۱- رده‌بندی کیفیت آب با استفاده از شاخص IRWQI (آقاجانلو و همکاران، ۱۴۰۱)

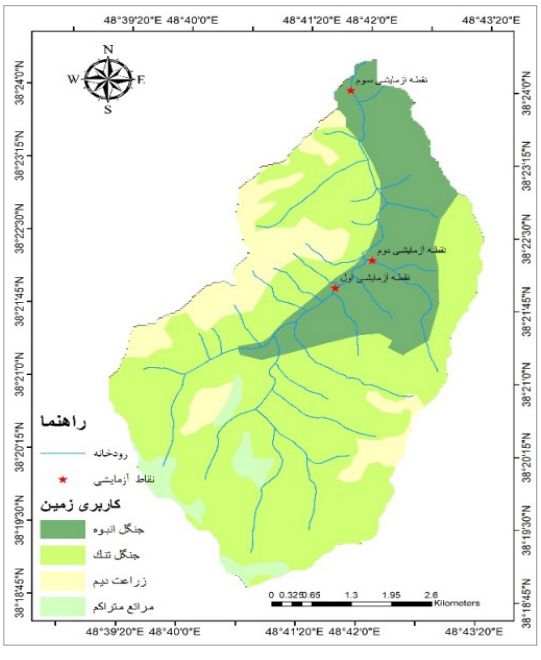
شاخص	مقدار شاخص عددی	رده‌بندی کیفی
IRWQI	<۱۵	خیلی بد
	۱۵ – ۲۹/۹	بد
	۳۰ - ۴۴/۹	به‌نسبت بد
	۴۵ - ۵۵	متوسط
IRWQI	۵۵/۱ – ۷۰	به‌نسبت خوب
	۷۰/۱ – ۸۵	خوب
	>۸۵	بسیار خوب

۴- برنامه ایمنی آب

در ادامه جهت بررسی سیستم آب‌رسانی شهرستان آستارا بین ماه مرداد و آبان ۱۴۰۲ از راهنمای برنامه‌ی ایمنی آب سازمان بهداشت جهانی و انجمن بین‌المللی آب و نرم‌افزار تضمین کیفیت برنامهٔ ایمنی آب (WSP-QA TOOL[۵]) استفاده شد. اطلاعات حاصل از مطالعات میدانی و مصاحبه با افراد کلیدی که نقش عمده‌ای در اجرای WSP در شرکت‌های آب داشتند، در ۱۲ بخش و به دو صورت کمی و کیفی انجام شد. در این برنامه سیستم امتیازدهی ۵ نمره‌ای (۰ تا ۴) است، که امتیاز صفر مربوط به مرحله آغاز نشده و امتیاز ۴ به مرحله تکمیل کامل تعلق می‌گیرد. درنهایت، امتیازات کسب شده در این بررسی و میزان پیشرفت اجرا برحسب درصد برای هر مرحله براساس روابط تعیین شده در نرم‌افزار محاسبه و نتایج به‌صورت جدول و نمودارهایی ارائه شد.

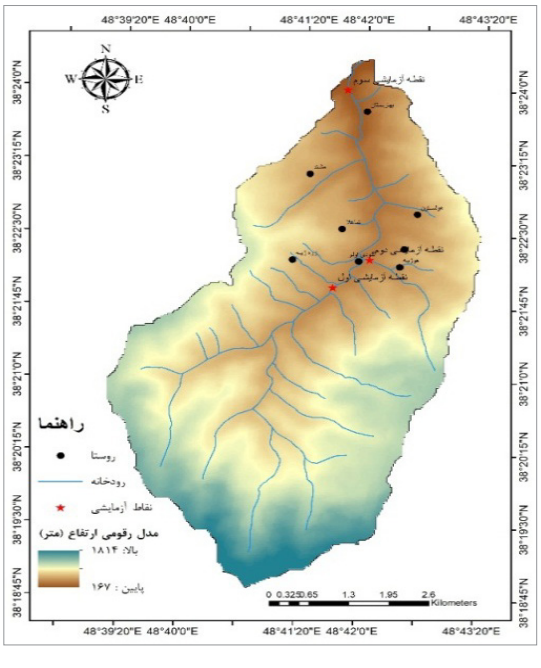
نتایج

پس از انجام مطالعات میدانی، ۳ منطقه به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری و هر یک با شرایط خاص، انتخاب شدند. نقطه اول در منطقه بالادست در روستای زره‌ژیه، نقطه دوم به‌عنوان زیرشاخه‌ای با بیشترین منشأ آلودگی و با دبی بالا در روستای مشند و نقطه ۳ در پایین‌دست رودخانه قبل از ورود آب به رودخانه آستارا چای و در محل تصفیه‌خانه بهارستان انتخاب شد (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه نقاط نمونه‌برداری آزمایش آب

بررسی نقشه نوع خاک در مناطق مطالعاتی نشان داد که جنس خاک از نوع Antisoil می‌باشد و از لحاظ وضعیت کاربری اراضی منطقه، کاربری جنگل با ۸۱ درصد، کشاورزی دیم با ۱۲ درصد و مرتع متراکم با ۷ درصد به‌ترتیب کاربری‌های غالب در منطقه مطالعاتی می‌باشند (شکل ۴).

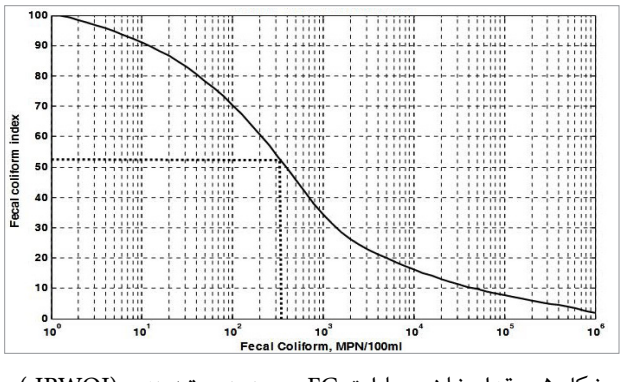


شکل ۴- نقشه کاربری زمین در منطقه مطالعاتی

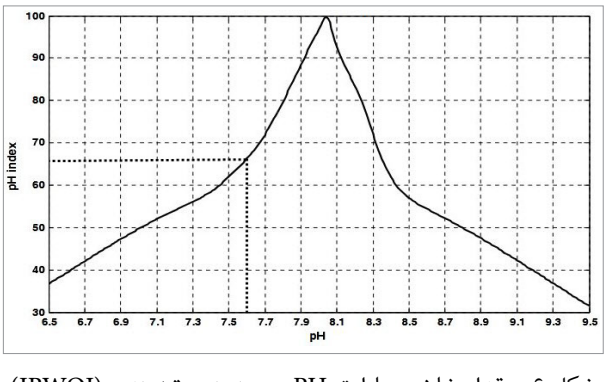
پس از تعیین نقاط نمونه‌برداری اقدام به برداشت نمونه شد که متوسط نتایج به‌دست آمده برای هر نمونه در فصول متفاوت به‌عنوان نتایج آزمایشگاهی ثبت شدند که در جدول (۲) ارائه شده‌است. با توجه به این‌که در منطقه مطالعاتی در برخی نقاط از آب چاه برای تأمین آب شرب استفاده می‌شود، اقدام به بررسی شاخص کیفیت آب (IRWQI) نیز شد که نتایج در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین به‌عنوان نمونه در شکل (۵) مقدار شاخص برای پارامترهای FC و PH در منطقه بهارستان در فصل بهار با استفاده از منحنی رتبه‌بندی ارائه شده است.

جدول ۲- اندازه‌گیری کیفیت آب در مسیر رودخانه حوزه‌آبخیز بهارستان

عامل	پارامتر	واحد	فصل بهار			فصل تابستان			فصل پاییز		
			زره‌ژیه	مشند	بهارستان	زره‌ژیه	مشند	بهارستان	زره‌ژیه	مشند	بهارستان
فیزیک و شیمیلی	رنگ	Pt-Co	۲۱	۲۶	۲۴	۲۲	۲۳	۲۲	۲۱	۲۵	۲۵
	کدورت	NTU	۲/۴	۳/۷	۲/۲	۰/۹	۲/۲	۱/۶	۱/۱	۱/۲	۲/۷
	PH	*	۷/۹۸	۷/۹۵	۷/۷۶	۷/۸۳	۷/۶۸	۷/۷۶	۸/۳	۸/۲	۸/۲
	EC	mS/cm	۱۱۲/۲	۱۱۴/۱	۱۵۸/۹	۱۴۷	۱۷۴	۱۷۲	۱۴۴	۱۵۶	۱۵۱
	TH	mg/l	۱۰۰	۷۵	۱۱۲	۸۴	۹۹	۹۸	۹۲	۱۰۰	۹۶
آنیون‌ها	Po^{3}_{4}	mg/l	۰/۶۱	۰/۶۳۶	۰/۲۳۸	۱/۲۶	۱/۳۹	۰/۲۶	۳/۶۳	۲/۶	۱/۹۲
	HCO3	mg/l	۶۸/۶	۹۶/۹	۱۰۴/۸	۷۸/۱	۹۰/۳	۱۱۲/۲۷	۱۰۱	۱۱۳	۱۰۱
	NO3	mg/l	۰/۸	۰/۹	۱/۶	۳/۴۵	۴/۵	۲/۷۲	۹	۱۱	۱۰
	NO2	mg/l	۰/۲۶	۰/۳۳	۰/۱	۰/۰۳۷	۰/۰۳۸	۰/۰۳۷	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۲
کاتیون‌ها	Mg^{2+}	mg/l	۰/۸۲	۰/۴۲	۰/۷۶	۰/۵۲۲	۰/۴۶	۰/۶۸	۹	۹	۹
	Na	mg/l	۶/۱	۶/۱	۷/۹	۱۱/۴	۱۲	۳۳/۷	۵/۳	۴/۶	۱۲/۹
	Ca	mg/l	۵۰	۵۸	۶۴	۱۵	۲۵	۳۰	۴۸	۵۴	۴۰
	Mn	mg/l	۰/۸۱	۰/۱	۰/۲۵	۰/۷۳	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۱	۰/۸۱	۰/۲۵
	Fe	mg/l	۰/۱۲	۱/۹	۰/۱	۰/۱۴	۷/۴	۰/۳۹	۰/۱۸	۱۱/۳۴	۰/۵۵
آلودگی	BOD	mg/l	۴	۳	۲	۳	۴	۲	۱	۳	۱
	COD	mg/l	۵/۸۲	۷/۱۸	۴/۲۵	۴/۲۶	۵/۰۸	۴/۴۲	۲/۳۶	۳/۴۴	۳/۹۶
	FC	MPN	۴۳	۹۳	۴۶۰	۴۷	۱۰۲	۱۳۷	۲۹	۶۴	۹۸
	DO	mg/l	۹/۶۱	۹/۸۵	۹/۴۸	۸/۵۲	۷/۴۹	۷/۹۵	۱۳/۹۸	۱۱/۶	۱۱/۹۳
قلیلیت	-	mg/l	۹۲	۶۸	۹۶	۹۱	۷۱	۱۱۲	۸۰	۸۰	۶۰
شاخص	IRWQI	-	۶۰	۶۱	۶۱	۵۹	۵۹	۶۰	۶۲	۵۹	۶۲



شکل ۵- مقدار شاخص پارامتر FC در منحنی رتبه‌بندی (IRWQI) برای منطقه بهارستان در فصل بهار



شکل ۶- مقدار شاخص پارامتر PH در منحنی رتبه‌بندی (IRWQI) برای منطقه بهارستان در فصل بهار

مقدار میانگین عامل‌های فیزیکی و شیمیایی، آنیون‌ها و کاتیون‌ها در فصول مختلف سال و مناطق مطالعاتی، با مقادیر کیفیت حد مطلوب ایران و حداکثر مجاز مقایسه شدند که در جدول (۳) ارائه شده است. حد مطلوب میزانی است که بیشتر از آن برای کیفیت آب آشامیدنی مطلوب نمی‌باشد، اما هنوز قابل شرب می‌باشد و مقدار حداکثر مجاز، حدی است که مصرف آن در کوتاه‌مدت یا درازمدت باعث ایجاد بیماری برای انسان نشود (WHO، ۲۰۲۲). نتایج آزمون تصادفی بودن داده‌ها نشان داد که مقدار p-value بیشتر از ۰/۰۵ است. بنابراین فرضیه صفر تصادفی بودن داده‌ها پذیرفته شد. همچنین با توجه به نتایج آزمون اسمیرنوف-کولموگراف و نرمال نبودن توزیع داده‌ها از آزمون ناپارامتریک t مستقل جهت بررسی تأثیر فصل بر کیفیت آب استفاده شد، که نتایج نشان داد در سطح معنی‌داری ۵ درصد، فصول بر کیفیت آب تأثیر ندارد.

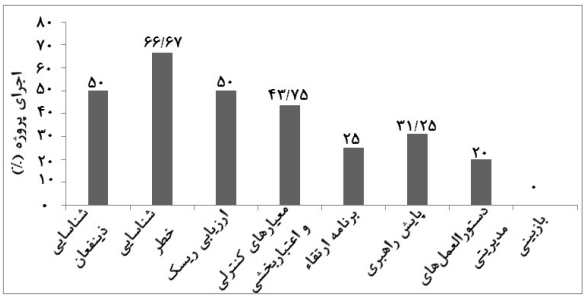
جدول ۳- مقایسه کیفیت آب شرب رودخانه بهارستان با حد مطلوب و حداکثر مجاز کشور(موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۸)

پارامتر	واحد	حد مطلوب	حداکثر مجاز	فصل بهار	فصل تابستان	فصل پاییز	زره‌ژیه	مشند	بهارستان	میانگین	انحراف معیار
رنگ	Pt-Co	۱≥	۱۵	۲۳/۶۷	۲۲/۳۳	۲۳/۶۷	۲۱/۳۳	۲۴/۶۷	۲۳/۶۷	۲۳/۲۲	۱/۸۶
کدورت	NTU	-	۵	۲/۷۷	۴/۲۷	۱/۶۷	۴/۱۷	۲/۳۷	۲/۱۷	۲/۹	۲/۴۲
PH	*	۸/۵- ۶/۵	۹ -۶/۵	۷/۹	۷/۷۶	۸/۲۳	۸/۰۴	۷/۹۴	۷/۹	۷/۹۶	۰/۲۲
TH	mg/l	۲۰۰	۵۰۰	۹۵/۶۷	۹۳/۶۷	۹۶	۹۲	۹۱/۳۳	۱۰۲	۹۵/۱۱	۱۰/۵۷
NO3	mg/l	*	۵۰	۱/۱۰	۳/۵۶	۱۰	۴/۴۲	۵/۴۷	۴/۷۷	۴/۸۹	۴/۰۴
NO2	mg/l		۳	۰/۲۳	۰/۳۷	۰/۴۲	۰/۳۵	/۳۸	۰/۳	۰/۳۴	۰/۱
Mg^{2+}	mg/l	۳۰	۳۰	۰/۶۷	۰/۵۵	۹	۳/۴۵	۳/۲۹	۳/۴۸	۳/۴۱	۴/۱۹
Na	mg/l	۲۰۰	۲۰۰	۷/۴	۱۹/۰۳	۷/۶	۷/۶	۷/۵۷	۱۷/۸۷	۱۱/۰۱	۹/۰۶
Ca^{2+}	mg/l	۳۰۰	۳۰۰	۳۳/۵۷	۲۳/۳۳	۴۷/۳۳	۳۷/۶۷	۴۵/۶۷	۴۴/۶۷	۴۲/۶۷	۱۶/۳۸
Mn	mg/l	۰/۱	۰/۴	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۵۵	۰/۳۴	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۳۱
Fe	mg/l	-	۰/۳	۰/۷۱	۲/۶۴	۴/۰۲	۰/۱۵	۶/۸۸	۰/۳۵	۲/۴۶	۴/۰۸
BOD	mg/l	*	۳۰	۳	۳	۱/۶۷	۲/۶۷	۳/۳۳	۱/۶۷	۲/۵۶	۱/۱۳
COD	mg/l	*	۶۰	۵/۷۵	۴/۸۳	۳/۲۵	۴/۱۵	۵/۴۷	۴/۲۱	۴/۶۱	۱/۴۴
IRWQI	*	≥۵۵	≤۱۵	۶۰/۶۷	۵۹/۳۳	۶۱	۶۰/۳۳	۵۹/۶۷	۶۱	۶۰/۳۳	۱/۲۲

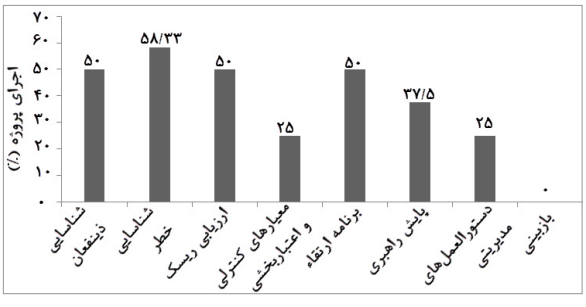
باتوجه به نتایج آزمایشگاهی به‌دست آمده بهره‌گیری از برنامه WSP در بهبود کیفیت آب آشامیدنی و سلامت شهروندان آستارا می‌تواند بسیار کارآمد باشد که در جدول (۴) ارزیابی کلی از مراحل WSP و امتیاز کسب شده در هر گام ارائه شده است. نتایج برنامه WSP برای آب آشامیدنی منطقه مطالعاتی در شکل‌های (۷) تا (۱۰) ارائه شده است که به‌ترتیب مربوط به ارزیابی سیستم آب‌رسانی در سرچشمه، تصفیه‌خانه، شبکه توزیع و محل مصرف آب می‌باشد.

جدول ۴- نتایج ارزیابی گام‌های برنامه ایمنی آب (WSP) در شهرستان آستارا

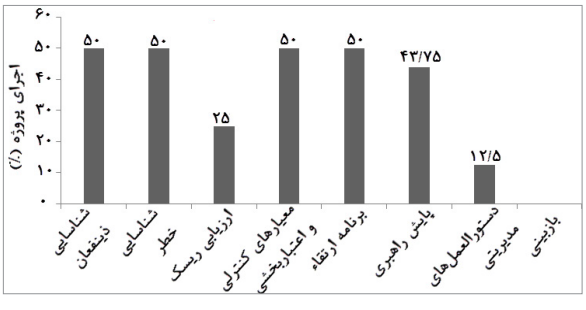
گام	کل نمره خام	امتیاز کسب شده (درصد اجرا شده)
تشکیل تیم	۲۰	۱۳/۲ (۶۵٪)
توصیف سیستم	۸	۵/۸ (۶۲/۵٪)
شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک	۱۰۰	۵۰/۱ (۵۰٪)
معیارهای کنترلی و اعتباربخشی	۶۸	۲۴/۶۸ (۳۵/۲۹٪)
برنامه بهبود/ارتقاء	۴۸	۱۸/۴۸ (۳۷/۵٪)
پایش راهبری	۶۴	۲۳/۶۴ (۳۵/۹۴٪)
اعتبارسنجی	۳۲	۳/۳۲ (۹/۳۸٪)
دستورالعمل	۳۶	۵/۳۶ (۱۳/۸۹٪)
برنامه پشتیبانی	۸	۱/۸ (۱۲/۵٪)
بازبینی	-	



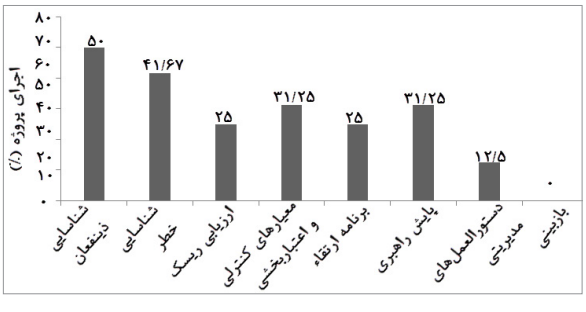
شکل ۷- نتایج اطلاعات WSP برای منابع آب آشامیدنی



شکل ۸- نتایج اطلاعات WSP برای تصفیه‌خانه آب آشامیدنی



شکل ۹- نتایج اطلاعات WSP برای شبکه توزیع آب آشامیدنی



شکل ۱۰- نتایج اطلاعات WSP برای نقطه مصرف آب آشامیدنی

بحث و نتیجه‌گیری

تصفیه‌خانه آب شهرستان آستارا در حوزه‌آبخیز بهارستان واقع شده است، که باتوجه به برداشت آب از این حوزه‌آبخیز جهت تأمین مصارف خانگی از جمله شرب، اهمیت بررسی کیفیت آب این رودخانه بسیار بالا است. در این مطالعه با انجام مطالعات میدانی و بازدید از رودخانه اصلی و انشعابات وارده به رودخانه، منطقه مشند به‌دلیل عواملی از قبیل دپوی فضولات دامی در چندین منطقه در کنار آبراهه‌ها، ورود فاضلاب خانگی به آبراهه و همچنین نشت آب از دهانه چاه فاضلاب خانگی و ورود آن به آبراهه به‌عنوان منطقه‌ای با پتانسیل بالا جهت ورود آلودگی به رودخانه تعیین شد و نمونه‌برداری و آزمایشات کیفیت آب در این منطقه و در محل بالادست (زره‌ژیه) و ورودی تصفیه‌خانه (بهارستان) انجام شد. میزان متوسط پارامترهای PH، TH، NO3، NO2، Mg، Na و Ca این رودخانه در همه نقاط مطالعاتی در محدوده حداکثر مجاز استاندارد ملی قرار دارند. در منطقه مشند که سرشاخه اصلی ورود آلودگی به رودخانه بهارستان می‌باشد، متوسط پارامتر Fe، ۶/۸۸ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که بیشتر از حداکثر مجاز می‌باشند و در منطقه زره ژیه و بهارستان در محدوده مجاز می‌باشند، که در مطالعات بنی‌اسدی و همکاران (۱۳۹۶) و کمالی و همکاران (۱۳۸۹) به مناسب بودن کیفیت آب شرب شهرستان آستارا اشاره شده است. از لحاظ آلودگی BOD و COD همه نمونه‌های مطالعاتی در محدوده مجاز قرار دارند. حداکثر میزان BOD و COD به‌ترتیب با ارزش ۳/۳۳ و ۵/۴۷ در منطقه مشند مشاهده شد که می‌تواند به‌دلیل ورود شیرآب حاصل از کپه فضولات دامی موجود در این منطقه باشد. میزان شاخص IRWQI به‌طور متوسط برابر با ۶۰/۳۳ می‌باشد که طبق مطالعات باقری و همکاران (۱۴۰۳) و Zamani-Ahmadmahmoodi و همکاران (۲۰۲۳)، این ارزش شاخص نشان‌دهنده مناسب بودن کیفیت آب سطحی شهرستان آستارا می‌باشد. در این مطالعه همچنین از برنامه WSP نیز بهره گرفته شده که ورودی‌های آن به‌صورت کمی و کیفی می‌باشد. روش‌های کیفی برای پی بردن به عمق نظرات افراد تحت مطالعه، کارایی بیشتری نسبت به روش‌های کمی دارند (یونسیان و همکاران، ۱۳۸۴). باتوجه به نتایج برنامه WSP، گام تشکیل تیم دارای حداکثر امتیاز ۱۳/۲ از ۲۰ می‌باشد. همچنین مراحل توصیف سیستم و شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک با ۶۲/۵ و ۵۰ درصد اجرا، دارای امتیاز بالا می‌باشند. گام اعتبارسنجی و برنامه پشتیبانی با ۹/۳۸ و ۱۲/۵ درصد، دارای کمترین امتیاز می‌باشند. طبق نتایج به‌دست آمده به‌طور متوسط ۳۳/۶۴ درصد از برنامه ایمنی آب در شهرستان آستارا پیش رفته است.

در حوزه‌آبخیز بهارستان فاکتورهای متعددی پتانسیل تولید آلودگی آب را دارند، بدین‌منظور لازم است مطالعات و آزمایشات در بازه‌های زمانی متفاوت در محل تصفیه‌خانه انجام شود. طبق نتایج به‌دست آمده سرشاخه وارده از منطقه مشند دارای آلودگی آب به‌نسبت بیشتری می‌باشد، لذا این سرشاخه باید در اولویت کنترل و اصلاح قرار گیرد. با اصلاح این سرشاخه و سایر شاخه‌هایی که دارای آلودگی آب هستند، کیفیت آب قابل بهبود می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

1-Water Safety Program
2-Water Safety Programs
3-Water Safety Plan
4-IRan Water Quality Index
5-Water Safety Plan Quality Assurance Tool

منابع

اسکندری، سعیده، احمدلو، فاطمه، پورقاسمی، حمیدرضا، آهنگران، یزدانفر، و رضاپور، ذوالفقار. (۱۴۰۲). بررسی رابطه زمانی و مکانی تغییر پارامترهای اقلیمی و آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان گیلان. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۲۱(۱)، ۱۶۴-۱۸۶. doi: 10.22092/ijfrpr.2023.361993.1577

آقاجانلو، کامله، حاجی‌زاده، احسان، و آریایی‌زاده، سحر. (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت آب رودخانه کارون بر پایه شاخص‌های IRWQI و WAWQIدر دو ایستگاه ملاثانی و اهواز. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۲)، ۳۶۸-۳۸۰. doi: 10.22059/ijswr.2022.333148.669115

باقری، هلیا، موچانی، محمد مظلومی، خلیلی، رضا، و مریدی، علی. (۱۴۰۳). تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه سرداب رود: دیدگاه‌های دوگانه شاخص کیفیت منابع آب سطحی ایران (IRWQIsc) و بنیاد ملی بهداشت (NSFWQI). مدیریت آب و آبیاری، ۱۴(۱)، ۲۲۳-۲۳۴. doi: 10.22059/jwim.2024.367167.1114

بنی‌اسدی، رقیه، احمدی‌زاده، سیدسعیدرضا، اعتباری، و قمی معتضه، علیرضا. (۱۳۹۶). مکان‌یابی دفن پسماندهای زاید شهری با تاکید بر معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی در مناطق شمالی ایران) مطالعه‌موردی: شهرستان آستارا، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۹(۵)، ۴۰۵-۴۱۵. doi: 10.22034/jest.2017.11344

جعفری، مصطفی. (۱۳۹۱). اثرات تغییرات اقلیمی و محیطی بر تولید چوب درختان راش و بلندمازو در جنگلهای منطقه خزر. علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۷(۳)، ۳۸۶-۴۰۸. doi: 10.22092/ijwpr.2012.116104

جهانگیر، محمدحسین، حسین‌دوست، محمدصادق، و ارست، مینا. (۱۴۰۰). ارزیابی وضعیت خشکسالی استان گیلان با استفاده از شاخص کچ-بایرام در انطباق با شاخص درصد نرمال بارندگی. مدلسازی و مدیریت آب و خاک، ۱(۴)، ۵۷-۶۷. doi: 10.22098/MMWS.2021.9407.1038

حاجی امیری، رامین. (۱۳۹۲). شناسایی و بررسی آلودگی‌های محیط زیست شهرستان آستارا، چالش‌ها و راهکارها. دومین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط زیست. همدان، ایران.

خوشروان، همایون، قاسمی‌نژاد، سرنا، و سلامی، فائضه. (۱۳۹۶). تعیین آسیب‌پذیری و ریسک مخاطرات فرسایشی بندر آستارا. اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۶(۱۰۴)، ۴۵-۵۵. doi: 10.22131/sepehr.2018.30517

سعیدپور، بهزاد، و سادات مدنی بروجنی، منیره. (۱۳۹۵). مقایسه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب تالاب بهشت معصومه در استان قم در زمستان و تابستان. پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، ۱۱(۲)، ۵۰-۵۷.

شاهی‌دشت، علیرضا، و عباس‌نژاد، احمد. (۱۳۸۹). ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تخلیه سفره آب زیرزمینی دشت جیرفت و پیش‌بینی شرایط در آینده. تحقیقات منابع آب ایران، ۷(۱)، ۷۷-۸۱.

عابدینی، موسی، بابایی، طیبه، و پاسبان، امیرحسام. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی مخاطرات زیست محیطی حوضه آبخیز ویرمونی استان گیلان. مطالعات علوم محیط زیست، ۸(۴)، ۷۳۴۴-۷۳۵۷. doi: 10.22034/jess.2023.379562.1943

عطایی، صدف. (۱۳۹۲). تجزیه و تحلیل مخاطرات محیط زیستی تالاب استیل آستارا با استفاده از روش Entropy. اولین همایش ملی حفاظت از تالاب‌ها و اکوسیستم‌های آبی. همدان، ایران.

کاویان، عطاالله، اسلامی، هوشنگ، و حبیب‌نژاد، محمود. (۱۳۹۵). تغییرپذیری مکانی کیفیت آب رودخانه هراز در جهت پایین‌دست. نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۰(۳۲)، ۷۷-۸۲.

کمالی، سیدابراهیم، استوان هادی، و تاتینا، مصطفی. (۱۳۸۹). برآورد شاخص زیستی وکیفیت آب رودخانه های کریم چای، لوندویل و چلوند شهرستان آستارا بوسیله جوامع حشرات آبزی کفزی. اکوبیولوژی تالاب، ۱(۴)، ۷۹-۸۹. .

کماکلی، سیده‌معصومه، اسمعیلی‌ورکی، مهدی، و نوابیان، مریم. (۱۴۰۱). مطالعه آزمایشگاهی راندمان افزایش اکسیژن محلول آب در سازه‌های کنترل تراز بستر سطح شیب‌دار در رژیم جریان شبه‌یکنواخت. سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۲۳(۷۶)، ۱۹-۵۰. doi: 10.22092/idser.2022.355968.1485

مرتضوی، مینا، شهریاری، طاهر، فنائی، فرزانه، و باریک‌بین، بهنام. (۱۳۹۸). ارزیابی ایمنی مدیریت تأمین و توزیع آب آشامیدنی شهر تربت‌جام با استفاده از نرم‌افزار تضمین کیفیت برنامه ایمنی آب. پژوهش در بهداشت محیط. ۲۳۰-۲۳۸. doi: 10.22038/jreh.2019.41239.1313

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. (۱۳۸۸). استاندارد شماره ۱۰۵۳، آب آشامیدنی-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب. کمیسیون فنی تدوین استاندارد. ۲۶ ص.

ولی‌نژاد، فاطمه. (۱۳۸۹). بررسی فلزات سنگین در آب زیرزمینی روستاهای شهرستان اسلامشهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۳ص.

روزبهایی، عباس، زهرایی، بنفشه، و تابش، مسعود. (۱۳۹۲). تحلیل ریسک کمیت و کیفیت آب در سیستم‌های تأمین آب شهری با در نظر گرفتن عدم قطعیت. آب و فاضلاب، ۴(۸۸)، ۲-۱۴.

یونسیان، مسعود، شریعتی، محمد، و زمانی، قاسم. (۱۳۸۴). دیدگاه‌ها و چالش‌های موجود در تشکیل معاونت سلامت در دانشگاه علوم پزشکی و خدمات به بهداشت درمانی تهران-یک مطالعه دلفی. بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، ۳(۱)، ۹-۲۰.

Anik, A. H., Sultan, M. B., Alam, M., Parvin, F., Ali, M. M., & Tareq, S. M. (2023). The impact of climate change on water resources and associated health risks in Bangladesh: A review. Water Security, 18, 100133. doi: 10.1016/j.wasec.2023.100133

Bosher, L. (2017). Disaster risk reduction for the built environment. Emergency management, 334pp. doi: 10.1002/9781119233015

Huang, W. W., Chen, X. J., Fan, Y. R., & Li, Y. P. (2022). Management of Drinking Water Source in Rural Communities under Climate Change. Journal of Environmental Informatics, 39(2), 136-151. doi: 10.3808/jei.202000431

Lipps, W. C., Baxter, T. E., Braun-Howland, E. B., American Public Health Association, & American Water Works Association (Eds.). (2023). Standard methods for the examination of water and wastewater. American public health association.

Priadi, C. R., Suleeman, E., Darmajanti, L., Putri, G. L., Genter, F., Foster, T., & Willetts, J. (2024). Policy and regulatory context for self-supplied drinking water services in two cities in Indonesia: Priorities for managing risks. Environmental Development, 49, 100940. doi: 10.1016/j.envdev.2023.100940

Rahman, M. M., Haque, T., Mahmud, A., Al Amin, M., Hossain, M. S., Hasan, M. Y., & Bai, L. (2023). Drinking water quality assessment based on index values incorporating WHO guidelines and Bangladesh standards. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 129, 103353. doi: 10.1016/j.pce.2022.103353

Rocha-Melogno, L., Yoo, R., Broesicke, O., Kallergis, A., Garcia, J., Herbas, E., & Brown, J. (2019). Rapid drinking water safety estimation in cities: Piloting a globally scalable method in Cochabamba, Bolivia. Science of the Total Environment, 654, 1132-1145. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.119

Shaibur, M. R., Howlader, M., Ahmmed, I., Sarwar, S., & Hussam, A. (2024). Water quality index and health risk assessment for heavy metals in groundwater of Kashiani and Kotalipara upazila, Gopalganj, Bangladesh. Applied Water Science, 14(5), 1-18. doi: 10.1007/s13201-024-02169-4

Unigwe, C. O., & Egbueri, J. C. (2023). Drinking water quality assessment based on statistical analysis and three water quality indices (MWQI, IWQI and EWQI): a case study. Environment, Development and Sustainability, 25(1), 686-707. doi: 10.1007/s10668-021-02076-7

World Health Organization. (2004). Guidelines for Drinking Water Quality, Third Edition, Vol. 1, Recommendations. WHO, Geneva. From: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf

World Health Organization. (2005). Water safety plans managing drinking-water quality from catchment to consumer. Prepared by Annet Davison and et al. Water, Sanitaton and Health Protecton and the Human Environment World Health Organizaton. Geneva.

World Health Organization. (2022). Guidelines for drinking-water quality: incorporating the first and second addenda. World Health Organization.

Zamani-Ahmadmahmoodi, R., Bayati, S., Abdollahi, K., Gharahi, N., Isa-Abadi, A. R., & Chama-

ni, A. (2023). Investigating spatial and temporal trend of groundwater quality in relation to water balance in 2007–2017: a case study of Chaharmahal va Bakhtiari Province, Iran. Applied Water Science, 13(10), 191. doi: 10.1007/s13201-023-01996-1