Abstract

Industrial activities in most countries are the primary source of economic growth and a vital sector fulfilling a society's needs. Simultaneously, industrial wastewater, as a collection of polluted water resulting from industrial and manufacturing operations, poses significant risks to the environment. Access to quality water resources and their scarcity is one of the most critical global issues today. Charmshahr and Salarieh Industrial Parks, located on the Tehran-Varamin road, due to their wide range of diverse industries, as well as production processes and raw materials, have a high potential for pollution. The aim of this study was to investigate the quality of surface and groundwater resources of Charmshahr Industrial Park, and to determine the non-carcinogenic risk of heavy metals in water resources surrounding the industrial park.In this study, a total of 9 samples were collected in duplicate. The measured parameters were BOD_5, COD, DO, pH, EC, HT, Na+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+, NO_3^-, PO_4^{3-}, turbidity, and fecal coliform. For the qualitative classification of water for drinking purposes, the Iranian Water Quality Index (IRWQI) for common and toxic parameters was used, and for agricultural purposes, the Wilcox diagram was employed. To determine the non-carcinogenic risk of metals, As, Cd, Cr, Cu, Mn, Zn, and Pb were evaluated.Based on the findings, according to the IRWQI index, surface water samples were classified as very poor in terms of common parameters. Among the groundwater samples, only one station was in relatively good condition, while the remaining groundwater samples were classified as very poor and poor in terms of quality. Based on the Wilcox diagram, most samples were unsuitable for irrigation due to high salinity and sodium. The pH in all samples was within the standard range. However, electrical conductivity (EC) is considered a limiting factor and reduces water quality. The results of the non-carcinogenic risk assessment showed that among the heavy metals studied, As and Cr, with higher Hazard Quotient (HQ) values, have higher levels of non-carcinogenic risk.

Keywords: *Charmshahr; Industrial Area; IRWQI (Iranian Water Quality Index) ; Non-carcinogenic risk; Heavy metals*

ویرایش شده

Introduction

Water is essential for human life and sustainable development, with access to sufficient, high-quality water supporting social and economic growth. Population growth, urbanization, industrialization, and agriculture increasingly threaten water quality via effluents, runoff, and landfill leachates. Surface and groundwater are both vital, with groundwater providing about 60% of renewable freshwater. Monitoring water quality is crucial for effective management, pollution control, and sustainable use, especially for heavy metals due to their toxicity and persistence. Water Quality Indices (e.g., IRWQI) offer practical tools to evaluate pollution levels and guide environmental management.

Method

Water and wastewater samples were collected in winter from surface water, groundwater, and industrial wastewater stations in Charmshahr to assess spatial pollutant distribution. Four river

stations, five groundwater wells, and six industrial wastewater points were sampled, including upstream controls. Field parameters (pH, EC, TDS, DO, temperature) were measured on-site, and laboratory analyses included BOD, turbidity, nutrients, microbial indicators, major ions, and heavy metals (ICP-AES). Water quality indices and health risk assessment models were applied to evaluate contamination levels and non-carcinogenic risks.

Results

The IRWQI showed very poor surface water quality for common parameters, with toxic pollutants worsening significantly at the industrial discharge point (S4). Groundwater quality was also degraded, with most wells rated very poor and only G1 and G5 suitable for irrigation due to high salinity in others. Several parameters including sodium, nitrate, and heavy metals such as arsenic and chromium exceeded national and international standards, with industrial effluent showing persistent contamination despite treatment. Health risk assessment indicated that arsenic and chromium posed the highest non-carcinogenic risks, with HI ≥ 1 in all surface waters and in G1.

Conclusions

Water quality deterioration in the study area is driven by population growth, industrialization, urban expansion, and uncontrolled wastewater discharge. IRWQI results for surface and groundwater in Charmshahr Industrial Town show clear impacts from industrial activities and land-use changes, with elevated nitrogen, phosphorus, and BOD linked to agricultural and urban pressures on the Varamin Plain. Overall, both surface and groundwater were classified as poor to very poor, restricting their use for drinking and irrigation. Heavy metals particularly arsenic and chromium exceeded permissible limits and posed the highest non-carcinogenic health risks. Continuous monitoring, pollution-control measures, and effective treatment of heavy metals are necessary before water use.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

در دست بررسی نشده

ویراستاری نشده

چکیده:

فعالیت‌های صنعتی در اغلب کشورها اولین منبع رشد اقتصادی و بخش فعال و مهم‌ترین منبع تأمین نیازهای یک جامعه می‌باشد. درعین‌حال، فاضلاب‌های صنعتی، به‌عنوان مجموعه‌ای از آب‌های آلوده حاصل از فعالیت‌های صنعتی و تولیدی، خطرات قابل‌توجهی برای محیط‌زیست به همراه دارند. دسترسی به منابع آب باکیفیت و کمبود آن یکی از مهم‌ترین مسائل جهان امروزی است. شهرک صنعتی چرمشهر و سالاریه، در مسیر تهران – ورامین، باتوجه‌به طیف وسیع صنایع مختلف و همچنین فرایندهای تولید و مواد مصرفی، از پتانسیل بالایی از آلایندگی برخوردار می‌باشند. هدف از انجام این مطالعه بررسی کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی شهرک صنعتی چرمشهر و ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین در منابع آب اطراف شهرک صنعتی بوده است. در این مطالعه مجموعاً تعداد ۹ نمونه (۴ نمونه آب سطحی و ۵ نمونه آب زیرزمینی) در فصل زمستان در دو تکرار برداشت شد. پارامترهای مورد اندازه‌گیری BOD_5، COD، DO، pH، EC، TH، Na^+، Ca^{2+}، Mg^{2+}، NH_4^+، NO_3^-، PO_4^{3-}، کدورت و کلیفرم مدفوعی بودند. برای طبقه‌بندی کیفی آب در مصارف شرب از شاخص پارامترهای متداول و سمی کیفیت منابع آب ایران(IRWQI) و مصارف کشاورزی از شاخص ویلکاکس استفاده شده است. به‌منظور تعیین خطر غیرسرطان‌زایی فلزات As، Cd، Cr، Cu، Mn، Zn و Pb مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس یافته‌ها بر اساس شاخص IRWQI نمونه‌های آب سطحی از لحاظ پارامترهای متداول در طبقه خیلی بد قرار گرفته‌اند و از میان نمونه‌های آب زیرزمینی، تنها یک ایستگاه در وضعیت نسبتاً خوب بود و سایر نمونه‌های آب زیرزمینی در وضعیت کیفی خیلی بد و بد قرار گرفته‌اند. بر اساس دیاگرام ویلکاکس، اکثر نمونه‌ها به دلیل شوری و سدیم بالا از کیفیت نامناسب جهت آبیاری برخوردار بودند. pH در تمامی نمونه‌ها در محدوده استاندارد قرار داشت. اما هدایت الکتریکی (EC) عامل محدودکننده و کاهش کیفیت آب محسوب می‌شود. نتایج حاصل از ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی نشان داد که در بین فلزات سنگین موردمطالعه، As و Cr با مقادیر بالاتر HQ ، دارای سطوح خطر غیرسرطان‌زایی بالاتری هستند.

کلمات کلیدی: *چرمشهر؛ شهرک صنعتی؛ شاخص کیفی IRWQI؛ خطر غیرسرطان‌زایی؛ فلزات سنگین.*

مقدمه:

امروزه تخلیه مواد خطرناک، منجر به کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است .آلودگی آب‌های زیرزمینی تهدیدی جدی برای سلامت انسان و محیط زیست به شمار می‌رود(Kumar & Singh, 2024) .از عوامل کاهش کیفیت و افزایش آلودگی آب می‌توان به افزایش جمعیت، صنعتی‌شدن، شهرنشینی، آلودگی ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله و رواناب‌های سطحی اشاره نمود(یوسف زاده و همکاران، ۱۳۹۲) . کاهش کیفیت آب زیرزمینی ناشی از حضور آلاینده‌های زیستی و شیمیایی است (Egbueri & Mgbenu, 2020) .مقادیر بیش از حد فلزات سنگین در آب آشامیدنی می‌تواند منجر به بروز اختلالات فیزیولوژیکی در انسان شود. فلزاتی مانند آرسنیک(As) ، کادمیوم(Cd) ، کروم(Cr) ، نیکل (Ni) و سرب (Pb) حتی در غلظت‌های پایین نیز برای انسان بسیار سمی بوده و می‌توانند مشکلات حاد و مزمن ایجاد کنند (Elwakeel et al., 2018) . آگاهی از کیفیت منابع آب، در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها ضروری است و برای انجام این برنامه‌ها، باید ابتدا وضعیت

کیفی منابع آب بررسی شود تا براساس منبع ایجاد آلودگی، اقدام به کنترل و حذف آن گردد(مقدم یکتا و همکاران، ۱۳۹۹). مشکلات آلودگی آب در ایران مانند دیگر کشور های در حال توسعه، به دلیل رشد جمعیت و افزایش فعالیت های انسانی، روز به روز افزایش می یابد. در این میان آلودگی به فلزات سنگین مشکلات زیست محیطی جدی را به دنبال دارد(Demir & Dere, 2015). اگرچه به طور طبیعی حضور برخی از فلزات به منظور انجام فعالیت‌های بیولوژیکی موجودات زنده ضروری هستند، اما انتشار آلاینده‌ها از منابع مختلف منجر به افزایش غلظت عناصر در سطوح خطرناک در محیط زیست برای موجودات زنده شده است. منشا آلودگی منابع آب به فلزات سنگین از دو طریق طبیعی، شامل هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها و انسان‌ساخت شامل فعالیت های صنعتی و کشاورزی است که می‌تواند کیفیت آب را کاهش دهد(اکبری و همکاران، ۱۳۹۷). وجود غلظت‌های بالا از فلزات سنگین و سموم در آب های سطحی و زیرزمینی، اغلب ناشی از شستشوی سطوح زمین‌های آلوده به فاضلاب های صنعتی و باقیمانده سموم و کودهای کشاورزی مصرفی هستند، که منجر به کاهش کیفیت منابع آب و نهایتا تهدید سلامتی مصرف‌کنندگان می‌گردد(آقایانی و همکاران،۱۴۰۲).یکی از موثرترین روش های بررسی کیفیت آب، استفاده از شاخص های مناسب برای ارزیابی کیفیت آب است. جهت تعیین وضعیت کیفی منابع آب از انواع متنوع شاخص‌های کیفیت آب استفاده می شود. در بحث آلودگی منابع آب ،شاخص های کیفیت آب IRWQI[1]به عنوان یک روش عملی برای مشاهده و نمایش مشکل آلودگی در آب به‌طور گسترده در ایران مورداستفاده قرار می‌گیرد. برای توسعه و اعتبار سنجی هر شاخص، تنها غلظت تعداد محدودی از پارامترهای کیفیت آب مورد نیاز است و از طریق مقدار IRWQI می‌توان به درجه کیفیت آب پی برد(Akkoyunlu & Akiner, 2012). محمودی و عرفانیان (۱۴۰۱) به منظور ارزیابی روند تغییرات کیفیت آب با استفاده از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی، منابع آب سطحی و زیرزمینی آذربایجان غربی را با استفاده از شاخص‌های کیفی IRWQI مورد آنالیز قرار دادند. وضعیت کیفی آب در طبقات کیفی متوسط، عالی و بسیار ضعیف قرار گرفت و همچنین وضعیت کیفی متوسط در شاخص‌های $IRWQI_{Sc}$و $IRWQI_{Gc}$ ارزیابی شد(محمودی و عرفانیان، ۱۴۰۱). در پژوهش موسوی راد و همکاران مطالعات کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی، منطقهٔ معدنی مس چهارگنبد، تحت تأثیر سد باطله در دو فصل خشک و تر انجام شد. تعداد ۱۰ نمونه آب، از بخش‌های مختلف محدودهٔ سد باطله به‌منظور آنالیزهای کیفی آب از جمله ویلکاکس و همچنین با استفاده از نرم‌افزارArc GIS ، نمودارهای مربوطه مورد تفسیر قرار گرفت. نتایج نشان داد که آب آشامیدنی و کشاورزی در منطقه، در حد استانداردهای جهانی زیست‌محیطی می‌باشد. نتایج نشان داد میزان منیزیم در فصل خشک نسبت به فصل تر افزایش نسبی داشته است، که مقادیر بالای منیزیم نسبت به کلسیم آب در سامانهٔ آبیاری روی کیفیت خاک تأثیر منفی گذاشته و خاک را به‌سمت قلیایی شدن پیش می‌برد. مولیبدن در نمونه‌های مربوط به سد در هر دو فصل تر و خشک از میزان استاندارد مصارف کشاورزی (10mg/l) بالاتر می‌باشد، که این افزایش در فصل خشک نمایان‌تر می باشد. مقادیر بی‌کربنات در فصل خشک نسبت به فصل تر افزایش محسوس‌تری نشان داد، که میزان این پارامتر در آب ورودی به کارخانه، رودخانه‌های اطراف و آب زهکش بیش از حد استاندارد کشاورزی به‌دست آمد(موسوی راد و همکاران، ۱۴۰۱).در مطالعه سلگی و همکاران در ارزیابی کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت ملایر۹۳ نمونه آب که شامل ۶۱ چاه، ۹ چشمه، ۱۶ رودخانه و هفت آبگیر بود مورد نمونه‌برداری قرار گرفت و پارامترهای NO_3، pH، EC، Na و Kاندازه‌گیری و کیفیت آب به کمک شاخص WQIو ویلکاکس برآورد شد .نتایج نشان داد که منابع مختلف آب از نظر کیفیت دارای اختلاف آماری معنی‌دار و مقدار EC، NO3 و Na در آب چاه بالاتر از سایر منابع است، بنابراین کیفیت آب چاه پایین‌تر از سایر منابع برآورد شد. بر اساس شاخص ویلکاکس بیش از ۱۰ درصد نمونه‌های آب چاه، چشمه و رودخانه دارای شوری بالا و در مورد چاه، چشمه و روخانه ۸۵/۲، ۸۸/۸ و ۶۸/۸ درصد نمونه‌ها دارای شوری متوسط بودند. مقادیر EC در آب چاه، چشمه و رودخانه بالاتر و در مورد آبگیر پایین‌تر از استاندارد WHOبرآورد شد(سلگی و همکاران، ۱۴۰۱).هدف از مطالعه سالاری بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت براساس نمودار ویلکاکس(Willcox) ، ارزیابی خطر ناشی از ترکیبات فیزیکوشیمیایی با استفاده از پارامترهای خطر سلامت مانند مصرف مزمن روزانه (CDI) و ضریب خطر (HQ) با استفاده از فرمول‌های EPA در بخشی از دشت شیراز واقع در مرکز

[1] IRAN Water Quality Index

ویرایشی نشده

استان فارس بود. با توجه به شاخص کیفی ویلکاکس و برای مصارف کشاورزی در حد متوسط و از نظر شرب در حد قابل قبول قرار گرفت. (سالاری، ۱۴۰۳).

شهرک صنعتی چرمشهر ورامین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز صنعتی کشور در زمینه تولید و فراوری چرم، در جنوب شرقی استان تهران و در محدوده دشت ورامین واقع شده است. این شهرک با تمرکز تعداد زیادی از واحدهای دباغی، رنگرزی و صنایع وابسته، نقش مهمی در تأمین نیازهای داخلی و توسعه اقتصادی منطقه ایفا می‌کند. بااین‌حال، ماهیت فعالیت این صنایع مستلزم استفاده گسترده از مواد شیمیایی مختلف بوده که منجر به تولید حجم قابل‌توجهی از پساب‌های صنعتی می‌گردد(عامری و همکاران، ۱۴۰۳).بنابراین، بررسی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در محدوده شهرک صنعتی چرمشهر و سنجش میزان آلودگی آن‌ها از نظر شناخت میزان آلایندگی این منابع ، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در محدوده شهرک صنعتی چرم‌شهر ورامین و تعیین میزان آلودگی آن‌ها با تأکید بر فلزات سنگین، می‌باشد.

نوآوری این پژوهش در ترکیب دو رویکرد مکمل، یعنی شاخص کیفیت آب IRWQI و مدل‌های ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی مبتنی بر USEPA است. درحالی‌که IRWQI تصویر کلی از وضعیت کیفی آب ارائه می‌دهد، مدل‌های ریسک بهداشتی پیامدهای ناشی از فلزات سنگین را از منظر سلامت انسان کمی‌سازی می‌کنند. ترکیب این دو روش امکان ارزیابی هم‌زمان کیفیت زیست‌محیطی و ریسک بهداشتی را فراهم کرده و دیدگاهی جامع‌تر نسبت به وضعیت منابع آب ارائه می‌دهد .همچنین، انجام تحلیل تطبیقی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی در منطقه‌ای با آلودگی صنعتی بالا، علاوه بر شناسایی الگوی آلودگی، امکان تعیین عناصر غالب در ایجاد ریسک و در نتیجه اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی را فراهم می‌سازد؛ مزیتی که در بسیاری از مطالعات پیشین موردتوجه قرار نگرفته است.

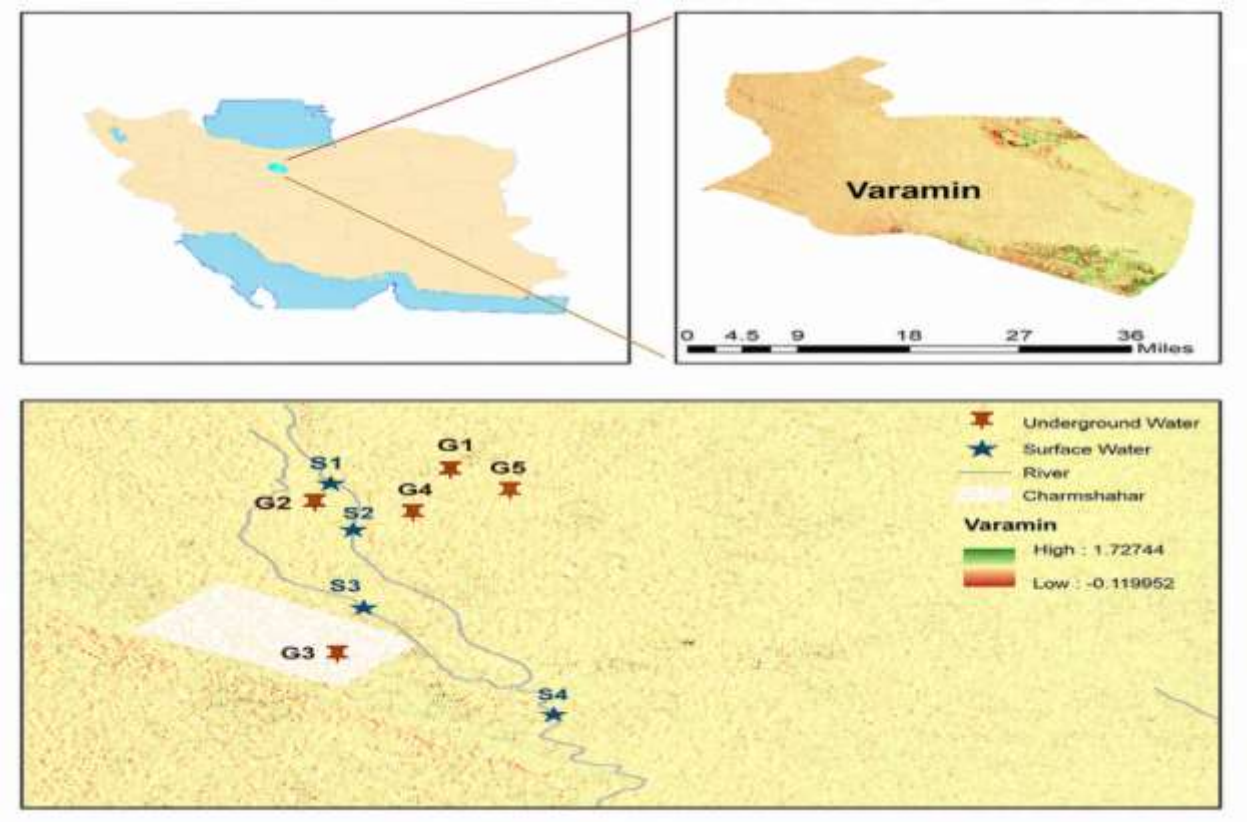
روش‌شناسی پژوهش

منطقه موردمطالعه:

محدوده مطالعاتی، شهرک صنعتی چرمشهر در جنوب شرقی استان تهران، و در بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۵۱ درجه ۴۵ دقیقه طول شرقی واقع گردیده است و مساحتی حدود ۱۵۸۴ کیلومترمربع از شهرستان ورامین را در بر می‌گیرد. شهرک صنعتی چرمشهر و سالاریه با وسعت تقریبی ۳۰۴۷۵ هکتار در مسیر تهران—ورامین و در فاصله ۳۵ کیلومتری از شهر ورامین احداث شده‌اند. در شهرک چرمشهر، ۲۱۱ واحد صنعتی فعال هستند که شامل صنایع نساجی، شیمیایی، خدماتی، فلزی و غذایی می‌شوند؛ تمرکز اصلی بر صنعت چرم‌سازی است. در بخش سالاریه نیز واحدهایی با فعالیت در حوزه‌های شیمیایی، فلزی، نساجی، چاپ و قالیشویی مستقر هستند(غضبان و همکاران، ۱۳۹۴).

ویراستاری نشده

[2]United States Environmental Protection Agency



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه شهرک صنعتی چرمشهر

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری‌های آب از محدوده شهرک صنعتی چرمشهر ورامین در فصل زمستان و در دو تکرار انجام شد. در انتخاب ایستگاه‌ها برای پایش منابع آب سطحی و زیرزمینی ضمن انتخاب ایستگاه شاهد (قبل از دریافت آلاینده‌ها)، سایر ایستگاه‌ها باهدف رصدکردن اثرات منابع آلاینده و همچنین تحلیل وضعیت و روند مکانی آلاینده‌ها انتخاب گردید. باتوجه‌به نزدیکی ایستگاه سینوپتیک ورامین به محدوده مطالعاتی از توزیع ماهانه بارندگی در این ایستگاه استفاده به‌عمل‌آمده است. با مراجعه به مقادیر بارش ماهانه در جدول ۱ چنین استنباط می‌شود که ماه‌های آذر، دی، اسفند و فروردین بیش‌ترین سهم را در بارش سالانه منطقه موردمطالعه داشته‌اند و فصل زمستان را می‌توان پربارش‌ترین فصل سال به‌حساب آورد.

جدول ۱: متوسط مقادیر بارندگی ماهانه در ایستگاه سینوپتیک ورامین (معرف منطقه مطالعاتی) در دوره آماری موجود بر حسب میلی‌متر

پارامتر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفن	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
حداکثر	۳/۹	۲۳/۴	۲	۳۱/۷	۳۰/۱	۴۵/۴	۳۲/۴	۲۲/۴	۷/۵	۱/۳	۱/۳	۲/۵	۲۳۸/۴
حداقل	۱/۷	۱۰/۸	۳۶	۱۷/۵	۱۴/۸	۱۹	۱۶/۲	۱۰/۱	۲/۸	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۱۱۰/۹
میانگین	۰	۳/۱	۷۰	۲	۶/۱	۴/۸	۰/۹	۳/۱	۰/۲	۰	۰	۰	۲۱/۶

از جمله محدودیت‌های این پژوهش، انجام نمونه‌برداری در یک فصل (زمستان) است؛ بنابراین باتوجه‌به تغییرات فصلی در غلظت آلاینده‌ها و پارامترهای کیفی آب، نتایج این مطالعه تنها بیانگر شرایط دوره مورد بررسی بوده و قابلیت تعمیم سالانه ندارد.

نمونه‌برداری آب سطحی

برای بررسی وضعیت آلودگی آب‌های سطحی اطراف شهرک صنعتی چرمشهر، از ۴ ایستگاه بر روی رودخانه‌های جاجرود و شور نمونه‌برداری انجام شده است (جدول ۲). تعیین ایستگاه‌ها باتوجه‌به شیب طبیعی زمین، مسیر حرکت منابع آب سطحی و محل استقرار واحدهای صنعتی انجام شد. به‌طوری که یک ایستگاه در بالادست سایت صنعتی به‌عنوان ایستگاه شاهد (S1)، دو ایستگاه بر روی رودخانه‌های جاجرود و شور به‌منظور روندیابی حرکت آلاینده‌ها (S2, S3) و یک ایستگاه در پایین‌دست شهرک صنعتی و محل ورود پساب به رودخانه جاجرود (S4) بودند. نمونه آب سطحی باتوجه‌به یکنواختی آب، رعایت حداقل فاصله از محل انشعاب رودخانه و محل ورود منبع آلاینده و همچنین رعایت فاصله ۲۰ سانتی‌متری ظرف نمونه‌برداری با محل نمونه‌برداری برای جلوگیری از برخورد با رسوبات برداشت شد. بطری‌های نمونه‌برداری پس از ثبت اطلاعات نظیر زمان، تاریخ و محل نمونه‌برداری و غیره در ظرف حاوی یخ قرار داده شد و به آزمایشگاه برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی منتقل گردید.

نمونه‌برداری آب زیرزمینی

به‌منظور سنجش و ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی ۵ از چاه‌های موجود برداشت شد، و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی منتقل گردید. ایستگاه‌های نمونه‌برداری باتوجه‌به موقعیت آبخوان و جهت حرکت آب‌ها به‌منظور رفتارسنجی آلاینده‌های دریافتی آبخوان انتخاب شدند. این ایستگاه‌ها شامل ایستگاه شاهد قبل از دریافت آلاینده‌ها (G1)، یک ایستگاه در محدوده چرمشهر (G3) و ۳ ایستگاه در جهت حرکت آب‌های زیرزمینی به‌عنوان روندیابی حرکت آلاینده‌ها (G2, G4, G5) و انتخاب شدند (جدول ۲).

جدول ۲: مشخصات نقاط نمونه‌برداری از منطقه شهرک صنعتی چرمشهر ورامین

نمونه‌برداری	شماره	محل نمونه‌برداری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
آب سطحی	S1	ایستگاه شاهد – بالادست شهرک صنعتی	۵۱/۵۵۱۱۸	۳۵/۱۷۷۱۷
	S2	رودخانه جاجرود – روندیابی حرکت آلاینده‌ها	۵۱/۵۶۲۱۹	۳۵/۱۴۰۲۶
	S3	رودخانه شور – روندیابی حرکت آلاینده‌ها	۵۱/۵۵۸۳۳	۳۵/۱۳۱۳۷
	S4	محل ورود پساب به رودخانه جاجرود –	۵۱/۵۸۵۹۷	۳۵/۱۰۱۵۶
آب زیرزمینی	G1	ایستگاه شاهد – چاه‌های محل تأمین آب	۵۱/۶۰۴۵۸	۳۵/۱۷۹۸۲
	G2	خارج از شهرک صنعتی – روندیابی حرکت	۵۱/۵۴۵۲۶	۳۵/۱۶۷۹۲
	G3	داخل شهرک صنعتی	۵۱/۵۴۵۴۳	۳۵/۱۲۰۷۸
	G4	خارج از شهرک صنعتی – روندیابی حرکت	۵۱/۵۶۲۶۶	۳۵/۱۴۹۳۵
	G5	خارج از شهرک صنعتی – روندیابی حرکت	۵۱/۶۲۱۱۱	۳۵/۱۷۱۰۴

ویرایش استاد

آنالیز نمونه‌ها

با توجه به تأثیر زمان انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه بر دقت و صحت نتایج، بخشی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی به‌صورت برجا و همزمان با نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند. این پارامترها شامل دما، هدایت الکتریکی(EC) ، pH، کل مواد محلول (TDS) و اکسیژن محلول (DO) بودند که پس از کالیبراسیون تجهیزات در محل ثبت گردیدند. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و سایر پارامترها مورد بررسی قرار گرفتند. کدورت و نیاز بیوشیمیایی اکسیژن (BOD) بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند .غلظت آنیون‌های نیترات (NO^{-3}) و فسفات ($PO4^{-3}$) با استفاده از روش اسپکتروفتومتری تعیین گردید.همچنین فراوانی کلیفرم‌های مدفوعی با استفاده از روش عدد محتمل (MPN[3]) و به‌کارگیری تکنیک تخمیر چندلوله‌ای در سه مرحله احتمالی، تأییدی و تکمیلی اندازه‌گیری شد(APHA, 2017).در ادامه، غلظت کاتیون‌های کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) به روش تیتراسیون با EDTA و سدیم (Na^{+}) به روش شعله‌سنجی تعیین گردید .همچنین اندازه‌گیری عناصر سنگین در نمونه‌ها با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی انجام شد (Skoog et al., 2018).

تعیین کیفیت آب بر اساس شاخص‌های کیفی

به‌منظور محاسبه شاخص کیفیت آب سطحی از شاخص $IRWQI_{SC}$ و کیفیت آب‌های زیرزمینی از شاخص $IRWQI_{GC}$ استفاده شده است. در این روش شاخص کیفی برای آلاینده‌های متداول و سمی به طور مجزا قابل‌محاسبه می‌باشد. براین‌اساس هرکدام از پارامترها در هر دو شاخص کیفی آلاینده‌های متداول و سمی دارای وزن‌های مخصوص به خود هستند. در محاسبه شاخص کیفیت آب سطحی و زیرزمینی پارامترهای شکل ۲ برای آلاینده‌های سمی و شکل ۳ برای پارامترهای متداول پیشنهاد شده است که به هرکدام بر اساس نقشی که در آلودگی آب‌ها دارند وزن مشخصی تعلق‌گرفته است(رفیعی و همکاران، ۱۴۰۲).

سپس با استفاده از روابط ۱ و ۲ مقدار شاخص IRWQI محاسبه گردیده است:

رابطه ۱)

$$IRWQI=\left[\prod_{i=1}^{n} I_i^{Wi}\right]^{\frac{1}{\gamma}}$$

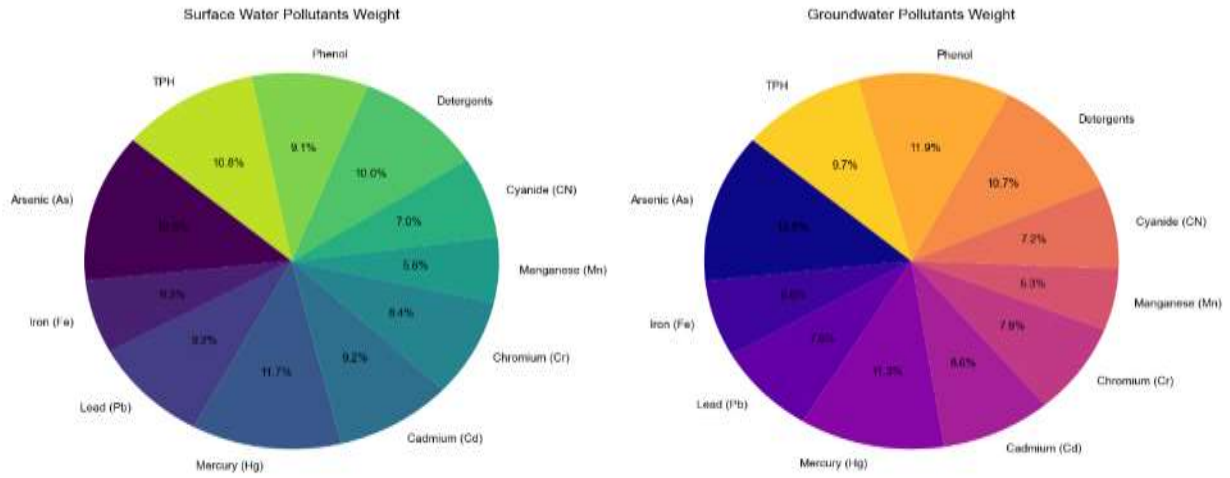
رابطه ۲)

$$\gamma=\sum_{i=1}^{n} w_i$$

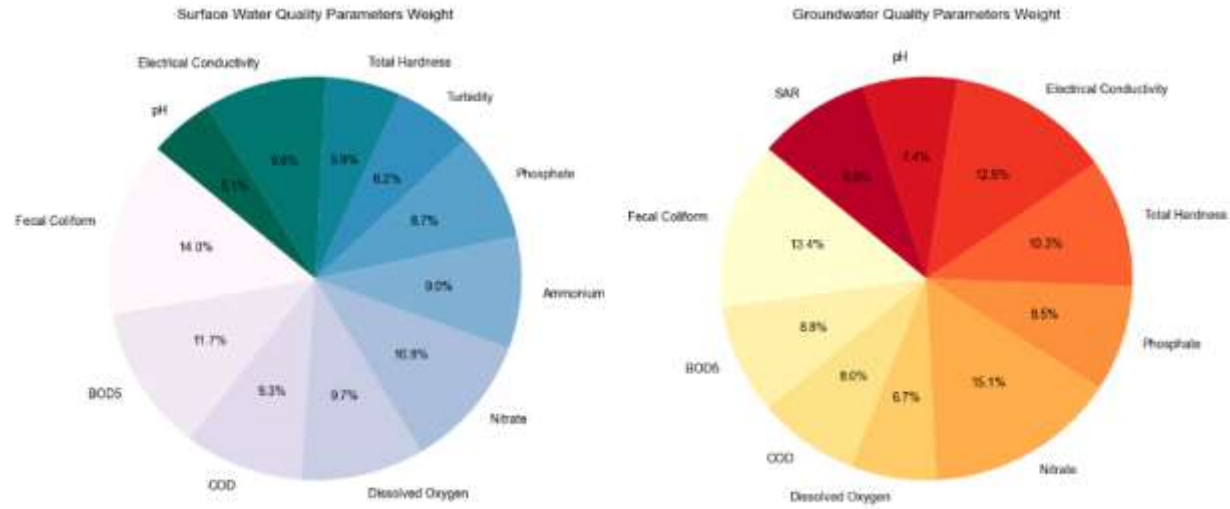
که در آن W_i وزن پارامتر i ام، n تعداد پارامترها، I_i مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی رتبه‌بندی و γ جمع وزن پارامترهاست. جدول ۲ معادل توصیفی مقدار محاسبه شده شاخص IRWQI را نشان می‌دهد(رفیعی و همکاران، ۱۴۰۲).

ویرایشنشده

[3]Most Probable Number



شکل ۲: پارامترهای شاخص IRWQI برای آلاینده‌های سمی در آب‌های سطحی و زیرزمینی و وزن آن‌ها



شکل ۳: پارامترهای شاخص IRWQI برای آلاینده‌های متداول در آب‌های سطحی و زیرزمینی و وزن آن‌ها

**جدول ۳: ** معادل توصیفی شاخص IRWQI محاسبه شده(رفیعی و همکاران، ۱۴۰۲).

مقدار شاخص	معادل توصیفی
کمتر از ۱۵	خیلی بد
۱۵-۲۹/۹	بد
۳۰-۴۴/۹	نسبتاً بد
۴۵-۵۵	متوسط
۵۵/۱-۷۰	نسبتاً خوب
۷۰/۱-۸۵	خوب
بیشتر از ۸۵	بسیار خوب

ویراستاری نشده

ارزیابی شاخص‌های ریسک سلامتی:

ارزیابی خطر مستلزم ارزیابی احتمال و اثرات سلامتی حوادث ناشی از عوامل خطر محیطی بر انسان و حیوانات است. به‌منظور ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی برای تعیین خطرات بالقوه سلامتی عناصر سنگین در آب آشامیدنی میزان مصرف روزانه مزمن[4] (CDI) تعیین می‌گردد. مقادیر CDI که بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز بیان می‌شود، برای فلزات سنگین انتخابی با درنظرگرفتن مسیر مصرف محاسبه می‌شود(سلگی و دیگران, ۱۴۰۳). جدول ۴ پارامترهای اولیه برای محاسبه CDI را با استفاده از رابطه (۳) نشان می‌دهد.

رابطه ۳)

$$CDI = \frac{C_i \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

که در آن، CDI، مصرف روزانه مزمن (mg/kg/day)، C_i، غلظت فلز سنگین (ppb)، IR میزان مصرف آب در روز (l/day)، EF فراوانی قرارگرفتن در معرض (days/year)، ED مدت‌زمان قرارگرفتن در معرض (year)، BW میانگین وزن بدن (kg/person) و AT زمان متوسط (days) می‌باشد. ارزیابی میانگین مصرف روزانه به ما اجازه می‌دهد که درک جداگانه‌ای از هر یک از آلاینده‌های آب داشته باشیم(کمری و دیگران, ۱۴۰۱).

جدول ۴: مقادیر پارامترهای مورداستفاده در روش‌های ارزیابی خطر سلامت در گروه‌های سنی مختلف

پارامتر	واحد	کودکان	افراد بالغ
میزان مصرف[5] (IR)	l/day	۱	۲

[4]Chronic daily intake
[5]Ingestion rate

فراوانی قرارگرفتن در معرض[6](EF)	days/year	۳۶۵	۳۶۵
مدت‌زمان قرارگرفتن در معرض[7](ED)	year	۶	۷۰
میانگین وزن بدن[8](BW)	kg	۱۵	۷۰
زمان متوسط[9](AT)	days	۳۶۵ × ED	۳۶۵ × ED

تعیین ضریب خطر[10](HQ) یا ارزش خطر غیرسرطان‌زا برای هر عنصر به‌صورت جداگانه و از رابطه (۴) صورت‌گرفته می‌گیرد(Shahsavani et al , 2022):

$$HQ = \frac{CDI}{RFD} \qquad (۴)$$

که در آن RFD، دوز مرجع[11](mg/kg/day) می‌باشد. دوز مرجع پارامتری است که برای تخمین سطح قرارگرفتن در معرض خوراکی روزانه برای انسان، از جمله گروه‌های حساس، استفاده می‌شود که انتظار می‌رود حداقل خطرات اثرات مضر را در طول عمر داشته باشد.

با استفاده از شاخص خطر مزمن[12](HI) می‌توان خطر بالقوه در اثر قرارگرفتن در معرض چندین فلز سنگین را ارزیابی کرد. مقادیر HI نشان‌دهنده بزرگی خطرات غیرسرطان‌زا مرتبط با قرارگرفتن در معرض فلزات سنگین است. مقادیر $HI < ۱$ بیان می‌کند که هیچ خطر غیرسرطان‌زایی قابل‌توجهی سلامت انسان را تهدید نمی‌کند. بااین‌حال، اگر $HI \geq ۱$ باشد، نشان‌دهنده خطرات غیرسرطان‌زایی قابل‌توجهی است که با افزایش مقدار HI افزایش می‌یابد. مقدار HI را می‌توان با استفاده از معادله (۵) تعیین کرد(Shahsavani et al , 2022):

$$HI = \sum HQ \qquad (۵)$$

نتایج و بحث

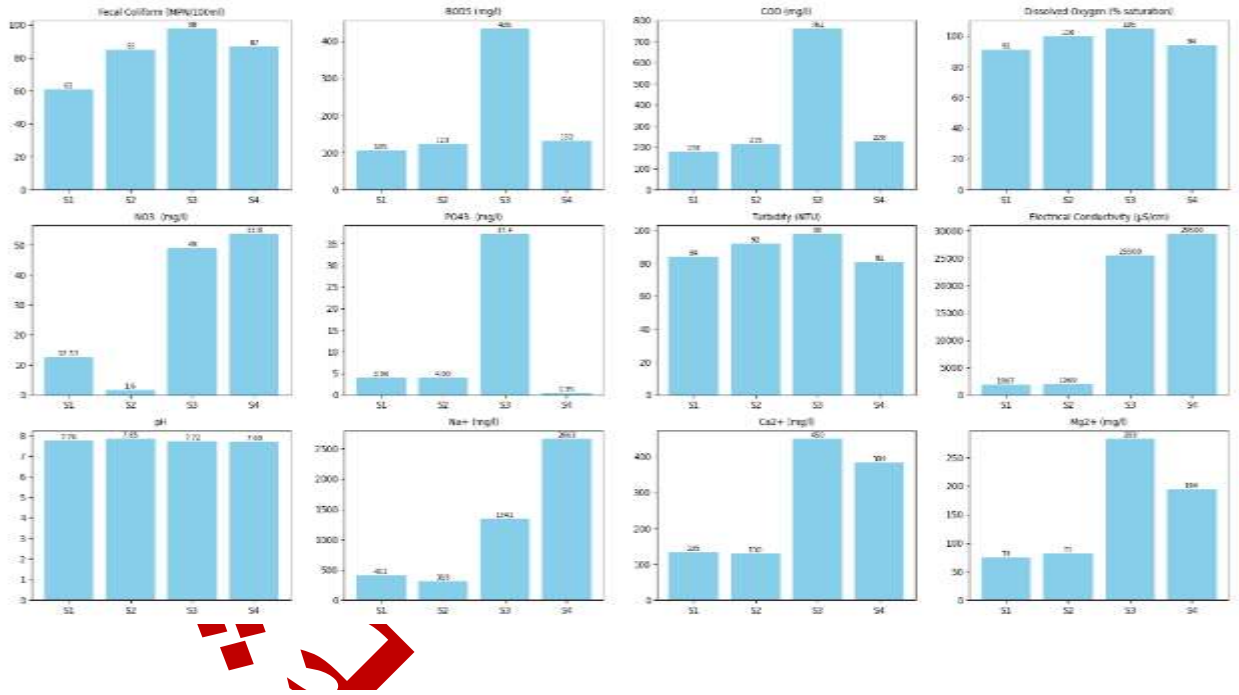
تعیین کیفیت آب سطحی بر اساس شاخص کیفی $IRWQI_{SC}$

نتایج آنالیز پارامترهای نمونه های آب سطحی در شکل شماره ۴ نشان شده است. سطح اکسیژن محلول میزان سلامت اکوسیستم آبی را نشان می‌دهد. منابع تولیدکننده اکسیژن محلول شامل هواگیری از اتمسفر و تولید اکسیژن از نورخاست و منابع مصرف کننده اکسیژن نیز مواد نیتروژنی و کربنی، نیاز اکسیژن رسوبات و تنفس توسط گیاهان آبزی می‌باشد(Emamgholizadeh et al, 2013). از آنجا که نمونه‌برداری در فصل زمستان انجام شده است، میزان اکسیژن محلول مقادیر نسبتا مناسبی را نشان داد که می‌تواند ناشی از افزایش قابلیت انحلال اکسیژن به دلیل کاهش دمای آب باشد(لرستانی و دیگران, ۱۳۹۹). با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت

[6]Exposure frequency
[7]Exposure duration
[8]Body weight
[9]Average time
[10]Hazard quotient
[11]Chronic oral refrence dose
[12]Chronic hazard index

ویرایشی نشده

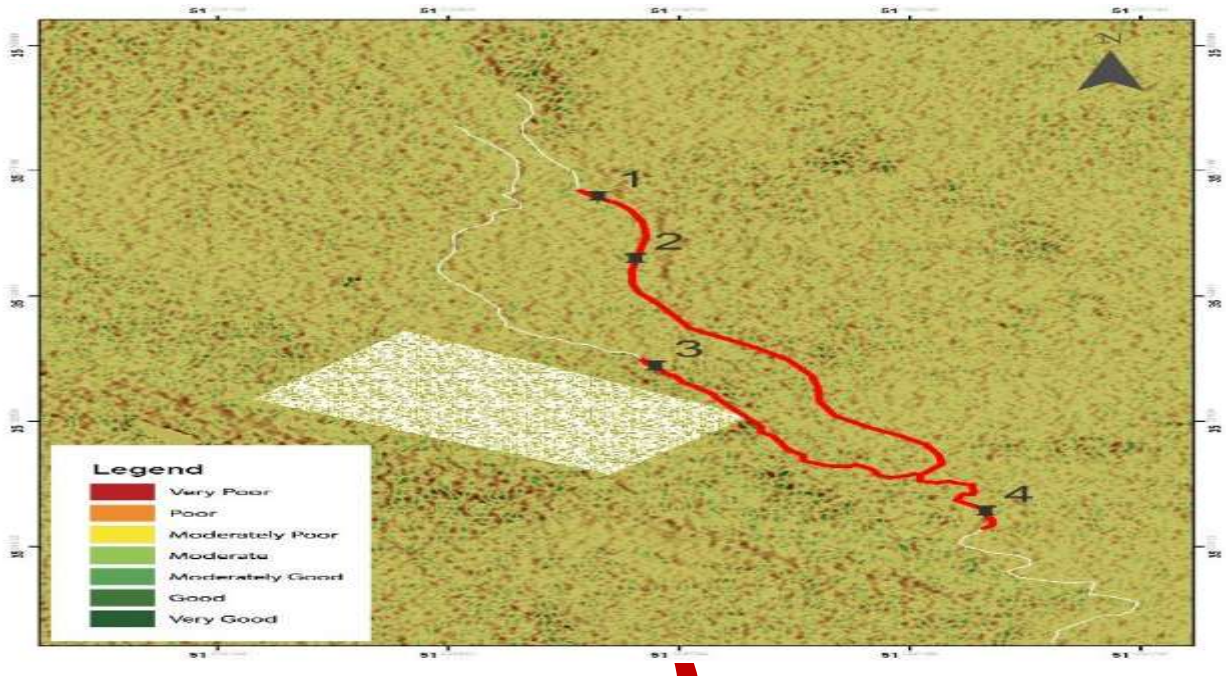
محیط زیست ایران که حد مجاز اکسیژن محلول را ۵ میلی گرم در لیتر اعلام کرده است،مقدار اکسیژن محلول در ایستگاه‌های مورد مطالعه محدودیتی ایجاد نمی کند. یکی از پارامترهای مهم کیفی آب از دیدگاه بهره برداری ، pH است و غالباً مقادیر بهینه آن مطابق با استانداردهای کیفی آب رودخانه های کشور (۱۳۸۵) در محدوده ۶/۵ تا ۹/۵ قرار دارد(لرستانی و دیگران, ۱۳۹۹). هدایت الکتریکی (EC) به تنهایی دخالتی در سلامت انسان ها و آبزیان ندارد ولی چون اندازه گیری آن آسان است، می تواند به عنوان شاخصی برای نمایش سایر مشکلات کیفی به‌کار گرفته شود. هدایت الکتریکی، نتیجه غیر مستقیم میزان نمک های حل شده است، به طوری که میزان بالای آن می‌تواند ناشی از اثر عوامل جوی طبیعی، سنگ های رسوبی معین و یا منابع انسانی مثل صنعت یا پساب های حاصل از فعالیت های انسانی باشد. مطابق با استاندارد WHO حد مجاز EC در آب های آشامیدنی ۰/۲۵ دسی زیمنس بر متر بیان شده است(WHO, 2022)، که با توجه به نتایج بدست آمده EC آب در ایستگاه‌های S3 و S4 با توجه به EC بالا، دارای محدودیت می باشد (شکل۴).



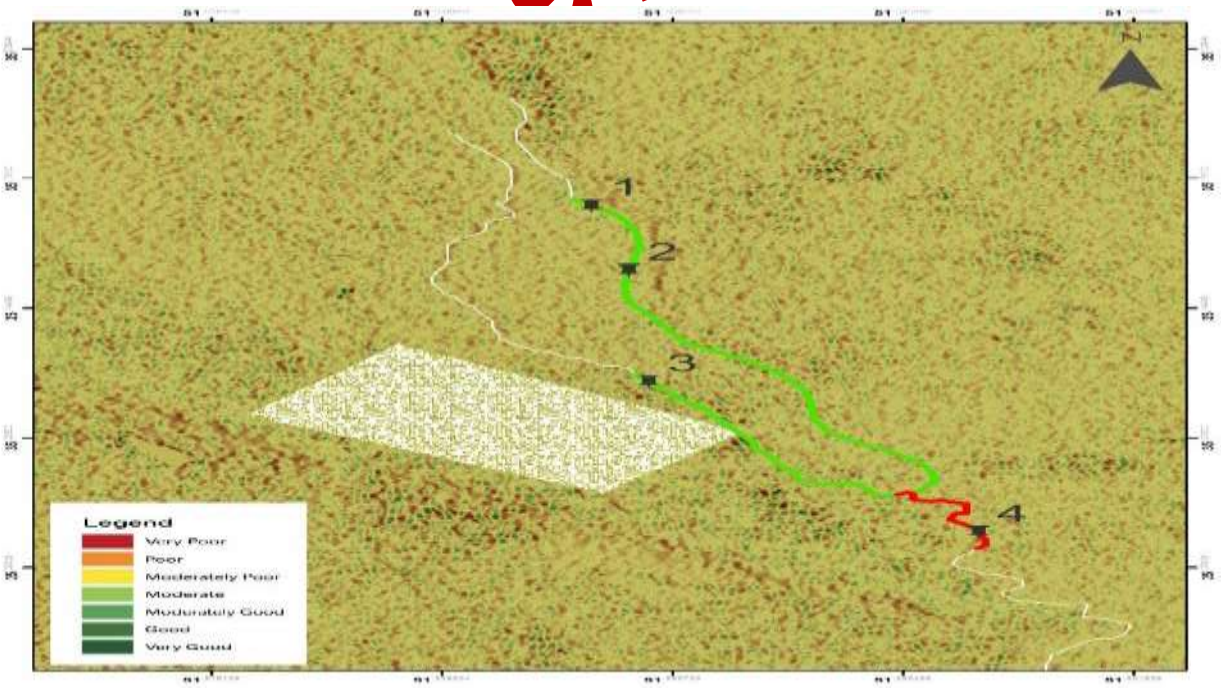
شکل ۴: نتایج تحلیل پارامترهای رایج آب‌های سطحی

نتایج محاسبه شاخص کیفیت منابع آب ایران برای منابع آب سطحی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول شماره۵ برای آلاینده های متداول و سمی ارائه شده است. همان‌طوری که در شکل ۵ نشان داده شده است، شاخص کیفیت منابع آب ایران در ایستگاه های نمونه برداری شده از لحاظ پارامترهای متداول برای تمامی ایستگاه های اندازه گیری شده در طبقه خیلی بد قرار گرفته اند. با توجه به شکل ۶ این شاخص برای پارامترهای سمی در ایستگاه نمونه برداری S1 که بالاتر از شهرک صنعتی قرار دارد و به‌عنوان نقطه شاهد در نظر گرفته شده بود در حد خوب طبقه بندی شده است. در دو ایستگاه S2 و S3 که برای بررسی روند آلودگی انتخاب شدند، نیز در طبقه

خوب قرار می گیرند. شاخص کیفی آب برای ایستگاه S4 که محل ورود پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی چرمشهر به رودخانه می باشد که در طبقه بندی شاخص کیفی در طبقه بد قرار می گیرد.



شکل ۵: شاخص $IRWQI_{SC}$ برای آلاینده‌های رایج



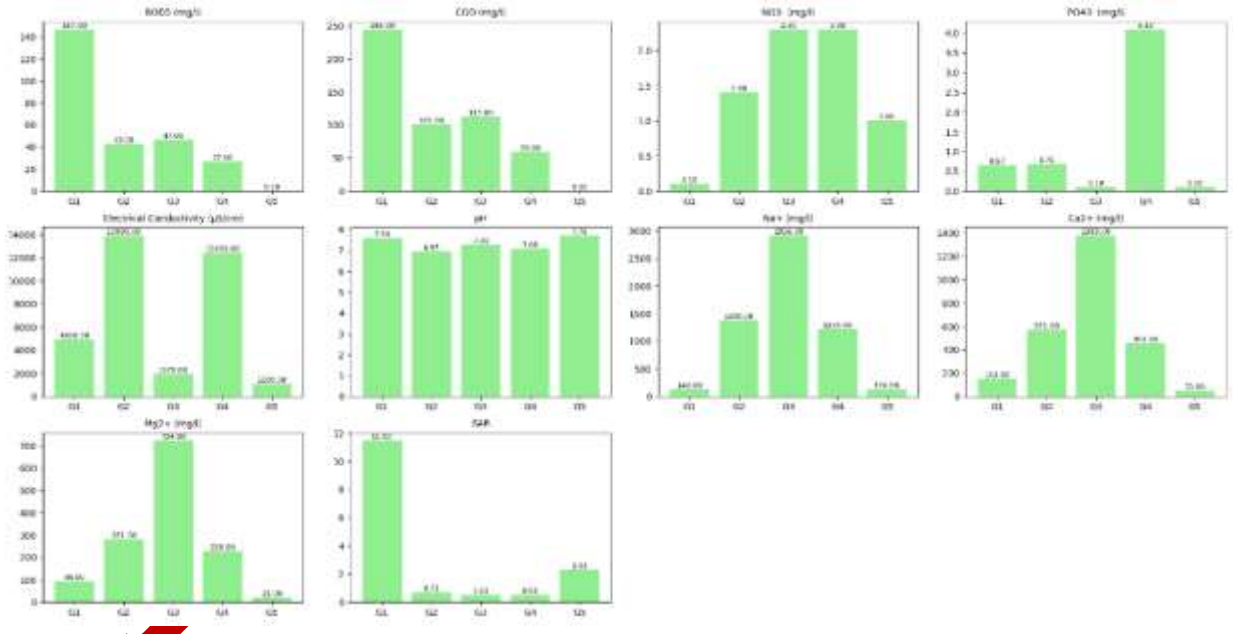
شکل ۶: شاخص $IRWQI_{SC}$ برای آلاینده‌های سمی

جدول ۵- طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی نمونه‌برداری شده در اطراف شهرک صنعتی چرمشهر ورامین طبق شاخص $IRWQI_{SC}$

ایستگاه نمونه‌برداری	شاخص $IRWQI_{SC}$ برای آلاینده‌های متداول		شاخص $IRWQI_{SC}$ برای آلاینده‌های سمی	
	مقدار شاخص	وضعیت کیفی	مقدار شاخص	وضعیت کیفی
S1	۵/۹	خیلی بد	۸۰/۴	خوب
S2	۸/۷	خیلی بد	۷۹/۶	خوب
S3	۱/۵	خیلی بد	۸۴/۴	خوب
S4	۲/۷	خیلی بد	۲۶/۵	بد

تعیین کیفیت آب زیرزمینی بر اساس شاخص‌های کیفی $IRWQI_{GC}$

نتایج آنالیز پارامترهای متداول برای تعیین شاخص کیفی آب زیرزمینی در شکل شماره ۷ و نتایج طبقه‌بندی کیفیت نمونه‌ها بر اساس شاخص کیفی $IRWQI_{GC}$ در جدول ۶ ارائه شده است.



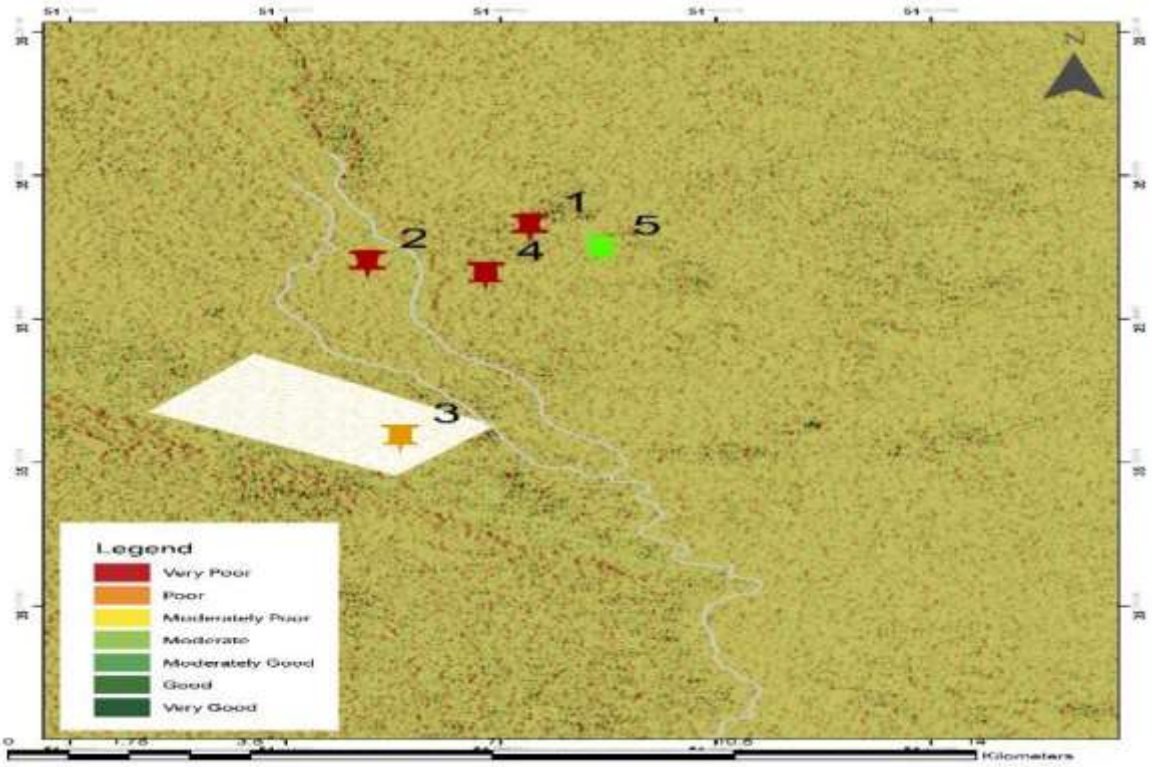
شکل ۷: نتایج تحلیل پارامترهای رایج آب زیرزمینی

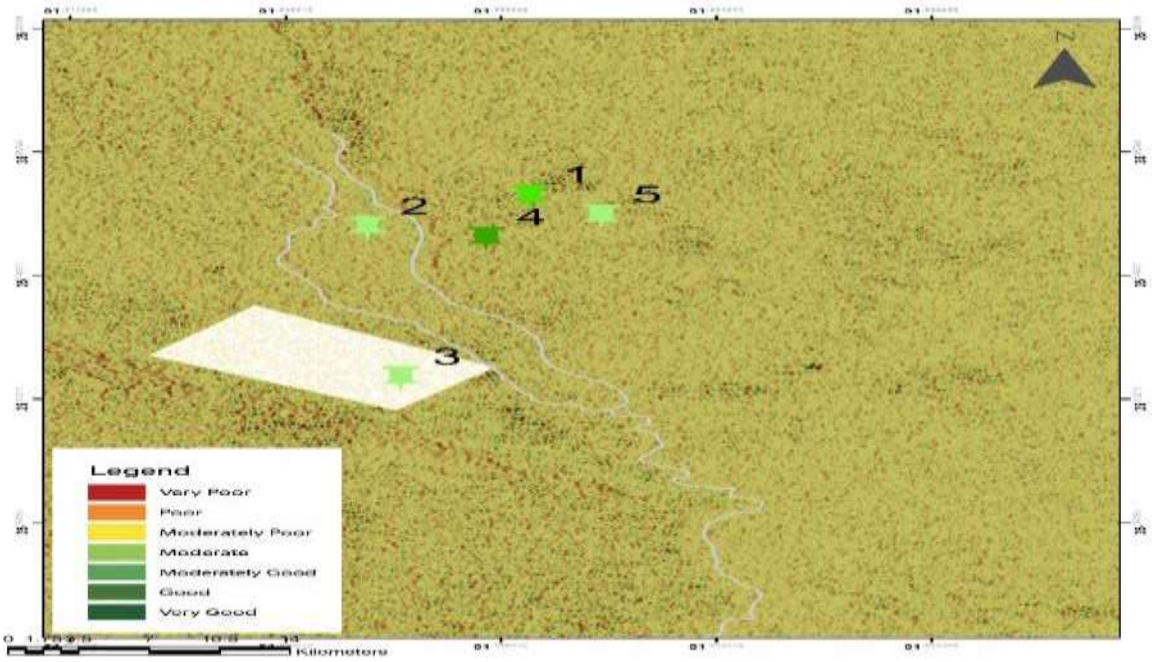
جدول ۶: طبقه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی نمونه‌برداری شده در اطراف شهرک صنعتی چرمشهر ورامین طبق شاخص $IRWQI_{GC}$

ایستگاه نمونه‌برداری	شاخص $IRWQI_{GC}$ برای آلاینده‌های متداول		شاخص $IRWQI_{GC}$ برای آلاینده‌های سمی	
	مقدار شاخص	وضعیت کیفی	مقدار شاخص	وضعیت کیفی
G1	۱۲/۵	خیلی بد	۷۴/۳	خوب

G2	۸/۹	خیلی بد	۴۳/۰	نسبتاً بد
G3	۲۸/۶	بد	۴۹/۰	نسبتاً بد
G4	۹/۸	خیلی بد	۸۹/۴	بسیار خوب
G5	۶۳/۱	نسبتاً خوب	۴۹/۳	نسبتاً بد

باتوجه‌به مقادیر اندازه‌گیری‌شده در نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از محدوده مطالعاتی و بر اساس معادل توصیفی برای شاخص کیفی به‌دست‌آمده برای آلاینده‌های متداول از میان ۵ ایستگاه نمونه‌برداری آب زیرزمینی،۴ ایستگاه در وضعیت کیفی خیلی بد و بد قرار گرفته‌اند .نمونه‌های برداشت شده خارج از شهرک صنعتی در ایستگاهG1 ، G2 و G4 در وضعیت خیلی بد قرار می‌گیرند که بیانگر تأثیر پساب شهرک صنعتی بر کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی محدوده اطراف شهرک صنعتی می‌باشد (شکل ۸). باتوجه‌به نتایج حاصل از محاسبه شاخص کیفی برای آلاینده‌های سمی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی، ایستگاه‌های نمونه‌برداری G1 و G4در وضعیت کیفی خوب و نسبتاً خوب قرار گرفته‌اند و سایر نمونه‌های برداشت شده در وضعیت کیفی نسبتاً بد قرار دارند (شکل ۹) .

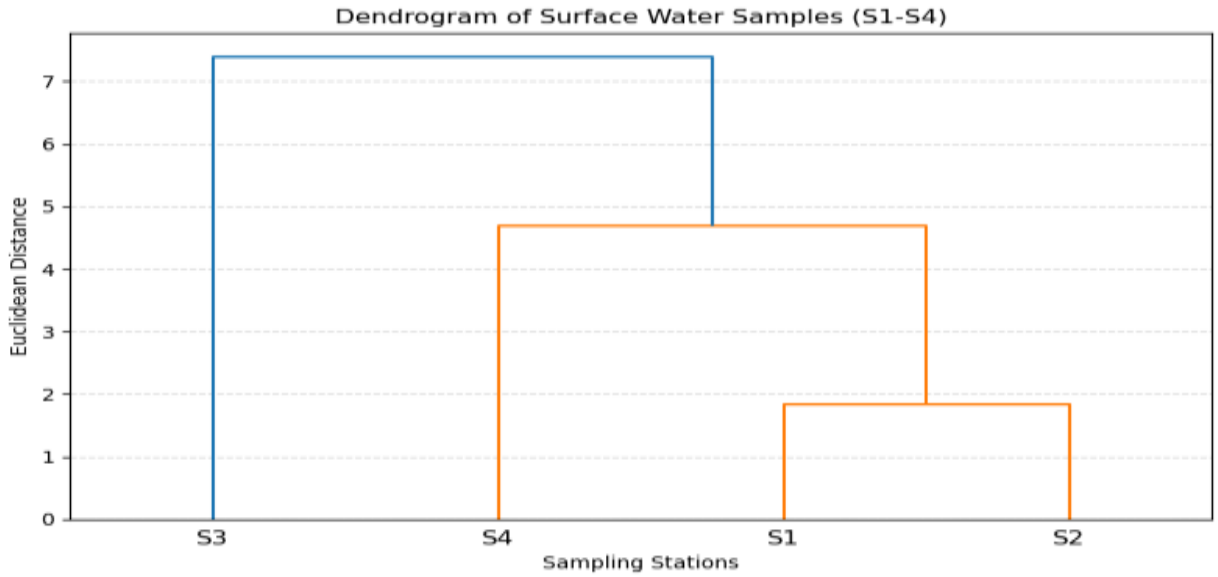




غیر قابل واگذاری

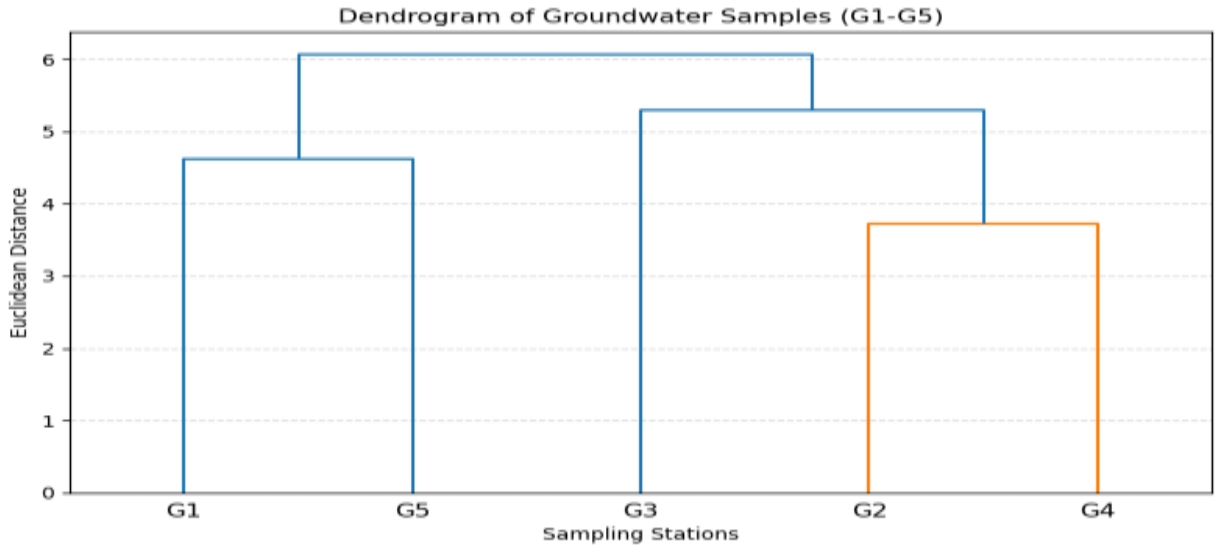
طبقه‌بندی منابع آب بر اساس تحلیل خوشه‌ای پارامترهای کیفی

به‌منظور بررسی الگوهای مشابه و تعیین گروه‌بندی ایستگاه‌های موردمطالعه، تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی با استفاده از روش Ward و فاصله اقلیدسی بر روی داده‌های استاندارد شده پارامترهای کیفی آب انجام شد. این تحلیل به‌صورت جداگانه برای نمونه‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی صورت گرفت تا تفاوت‌های موجود در الگوهای آلودگی به طور دقیق‌تری مشخص شود .نتایج تحلیل خوشه‌ای آب‌های سطحی نشان داد که ایستگاه‌ها در سه خوشه مجزا طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۱۰). خوشه اول شامل ایستگاه‌های S1 و S2 بوده که با توجه به مقادیر پایین‌تر هدایت الکتریکی، مواد مغذی و شاخص‌های آلودگی آلی، بیانگر شرایط با کیفیت متوسط آب می‌باشند. خوشه دوم شامل ایستگاه S4 است که با وجود مقادیر بسیار بالای هدایت الکتریکی و نیترات، دارای مقادیر پایین مواد معلق و فسفات بوده و نشان‌دهنده غلبه آلودگی‌های محلول و شوری بالا در این ایستگاه می‌باشد. خوشه سوم شامل ایستگاه S3 بوده که به دلیل مقادیر بسیار بالایCOD ، BOD، مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) و مواد معلق، به‌عنوان آلوده‌ترین ایستگاه شناسایی شد. این الگو بیانگر وجود منابع آلودگی نقطه‌ای قوی، احتمالاً ناشی از ورود فاضلاب‌های شهری یا پساب‌های کشاورزی در این ایستگاه است.



شکل ۱۰: دندروگرام تحلیل خوشه‌ای آب‌های سطحی بر اساس پارامترهای فیزیکوشیمیایی

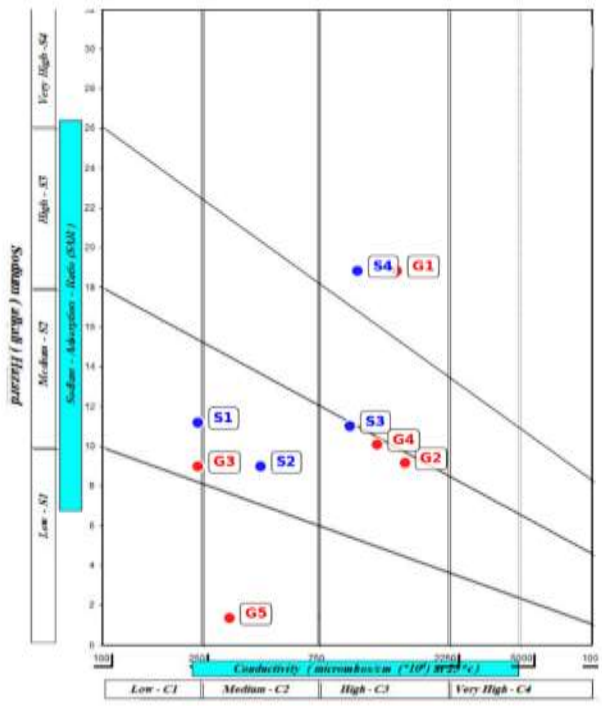
در بخش آب‌های زیرزمینی نیز نتایج تحلیل خوشه‌ای نشان داد که نمونه‌ها در سه خوشه اصلی قرار می‌گیرند. خوشه اول شامل ایستگاه G5 بوده که دارای کمترین مقادیر آلاینده‌ها و در نتیجه بهترین کیفیت آب در میان نمونه‌ها است. خوشه دوم شامل ایستگاه‌های G2و G4 بوده که با مقادیر بالای هدایت الکتریکی و شوری مشخص می‌شوند و نشان‌دهنده تأثیر فرایندهای افزایش املاح محلول، نظیر تبخیر یا نفوذ آب‌های شور، می‌باشند. خوشه سوم شامل ایستگاه‌های G1 و G3 است که با مقادیر بالاترCOD ، BODو نیتروژن کل مشخص شده و بیانگر تأثیر منابع آلودگی آلی و فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت این منابع آب زیرزمینی می‌باشند.



شکل ۱۱: دندروگرام تحلیل خوشه‌ای آب‌های زیرزمینی بر اساس پارامترهای فیزیکوشیمیایی

طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی بر اساس شاخص ویلکاکس

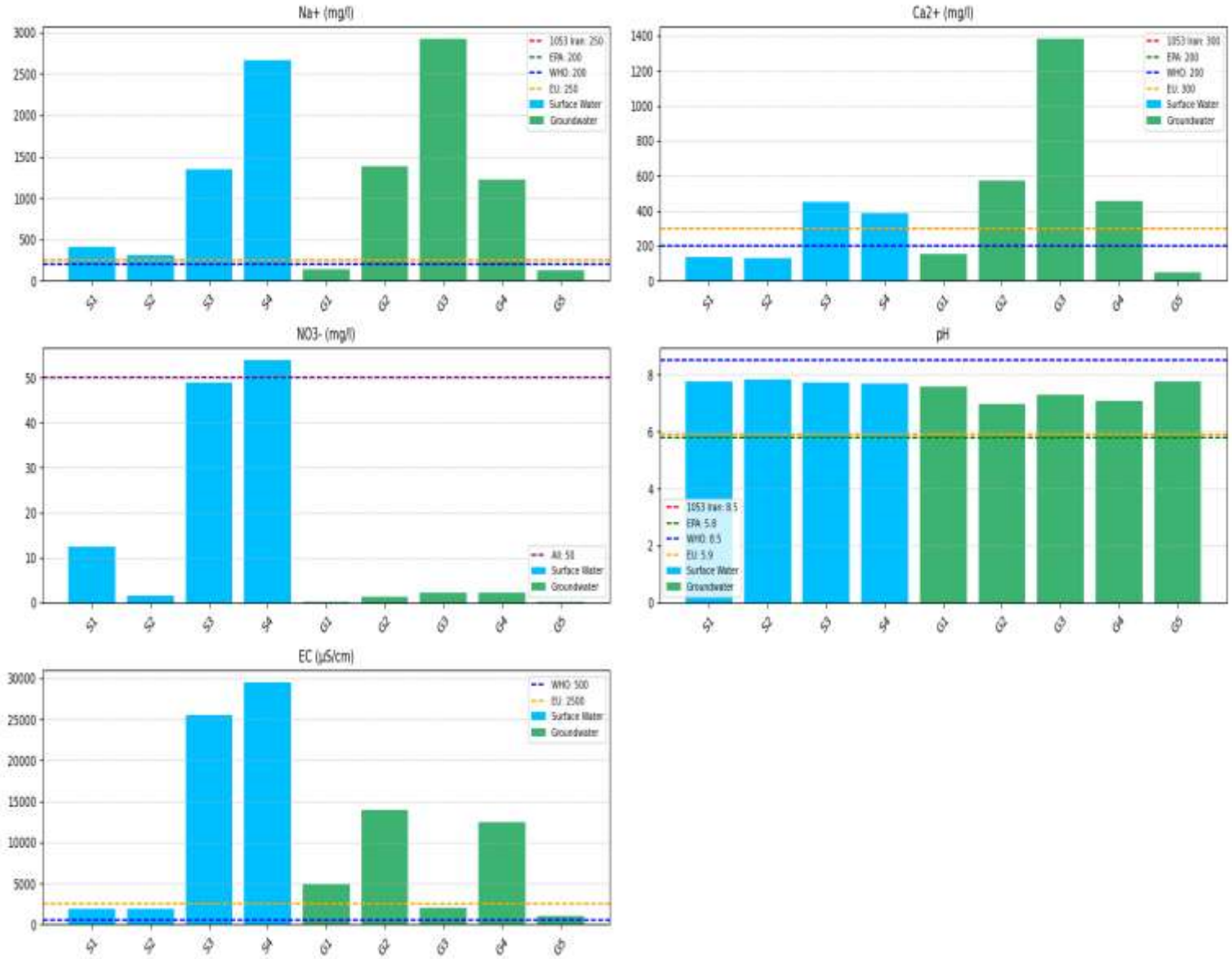
در مطالعه حاضر ، کیفیت نمونه های آب برای مصارف کشاورزی نیز با شاخص ویلکاکس مورد ارزیابی قرار گرفتند. شکل ۱۲، دیاگرام ویلکاکس را بر اساس مقادیر هدایت الکتریکی در آب در کلاس های متفاوت نشان می‌دهد. در طبقه بندی ویلکاکس دو عامل هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم (SAR) که خطر قلیایی شدن را بیان می کند، برای تعیین کیفیت مصارف کشاورزی در نظر گرفته شده و هر یک به چهار قسمت تقسیم می‌شود، که در مجموع ۱۶ کلاس کیفیت آب را ایجاد می‌کند(Wilcox, 1958). بر اساس دیاگرام ویلکاکس، مشاهده می‌شود که مقدار بالای نمک‌ها یکی از مشکلات کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. طبق شکل ۱۲، نمونه‌های S1، S2، G3و G5 به دلیل شوری کم تا متوسط (C2) و نسبت سدیم پایین تا متوسط (S1–S2) برای مصارف آبیاری کشاورزی مناسب هستند، در حالی که نمونه‌های S3، S4، G1، G2و G4 به دلیل شوری زیاد (C3) یا نسبت سدیم بالا (S3–S4) محدودیت دارند.کیفیت آب آبیاری روی خصوصیات خاک تاثیر می‌گذارد. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های مطالعات انجام‌شده در مناطق صنعتی و نیمه‌خشک مشابه همخوانی دارد. به‌طوری‌که در مناطق صنعتی ایران و سایر نواحی خشک، افزایش شوری و نسبت سدیم در منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده استفاده کشاورزی گزارش شده است (Zhou et al., 2021).این مطالعات نشان می‌دهند که نفوذ پساب‌های صنعتی و تجمع املاح محلول می‌تواند منجر به افزایش EC و SAR و در نتیجه کاهش کیفیت آب آبیاری گردد.همچنین نتایج این پژوهش با مطالعاتی که تأثیر آب‌های شور و سدیمی بر ویژگی‌های خاک را بررسی کرده‌اند، مطابقت دارد؛ به‌طوری‌که آبیاری با آبس دارای سدیم بالا باعث تخریب ساختمان خاک، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و افت نفوذپذیری می‌شود(Rengasamy, 2015) .بنابراین، بالا بودن شوری و سدیم در برخی ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه می‌تواند در بلندمدت منجر به کاهش کیفیت خاک و محدودیت در بهره‌برداری کشاورزی گردد.



شکل ۱۲: نمودار طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی بر اساس شاخص ویلکاکس

به‌منظور مقایسه نتایج کیفی منابع آب در سطح محدوده مطالعاتی با استانداردهای بین‌المللی، از استانداردهای شرب EPA، WHO و استاندارد اتحادیه اروپا در کنار استاندارد ملی ایران (استاندارد ۱۰۵۳) استفاده گردیده است.همانگونه که در شکل۱۲ مشاهده می شود براساس این استانداردها تمامی نمونه های آب سطحی و همچنین نمونه های آب زیرزمینی G2، G3 و G4 بر اساس مقدار سدیم دارای محدودیت می‌باشند. از نظر میزان کلسیم، غلظت آن در نمونه‌های آب‌سطحی S1 و S2 و نمونه‌های آب زیرزمینی G1 و G5 از تمامی استانداردهای بررسی شده کمتر است و محدودیتی ایجاد نمی کند. غلظت نیترات در نمونه‌های آب‌سطحی S3 و S4 بر اساس هر چهار استاندارد دارای محدودیت شرب می باشد. pH در تمامی نمونه‌ها در محدوده استاندارد قرار دارد و مشکلی ایجاد نمی‌کند. در خصوص هدایت الکتریکی (شوری) همانطور که در دیاگرام ویلکاکس مورد بررسی قرار گرفت عامل محدود کننده و کاهش کیفیت آب محسوب می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که شوری و سدیم به‌عنوان مهم‌ترین عوامل محدودکننده کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه شناخته می‌شوند. افزایش هدایت الکتریکی و غلظت سدیم می‌تواند با تخلیه پساب‌های صنعتی، نفوذ فاضلاب‌های شهری و همچنین فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی از جمله انحلال سازندهای زمین‌شناسی مرتبط باشد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که ورود پساب‌های با شوری بالا به محیط می‌تواند موجب افزایش غلظت املاح محلول و تخریب کیفیت منابع آب شود (Shtull-Trauring et al., 2020) . در مقایسه با مطالعات پیشین، نتایج این پژوهش با یافته‌های تحقیقات انجام‌شده در مناطق صنعتی همخوانی دارد؛ به‌طوری‌که نفوذ آلاینده‌های صنعتی به آب‌های زیرزمینی می‌تواند موجب افزایش قابل توجه پارامترهایی نظیر سدیم، کل مواد محلول و سختی شود. همچنین گزارش شده است که منابع آلاینده سطحی، به‌ویژه پساب‌های صنعتی، تأثیر مستقیم‌تری بر کیفیت آب‌های سطحی دارند، در حالی‌که کیفیت آب‌های زیرزمینی بیشتر تحت تأثیر شرایط زمین‌شناسی و فرآیندهای درون‌آبخوانی قرار می‌گیرد (Zacchaeus et al., 2020).

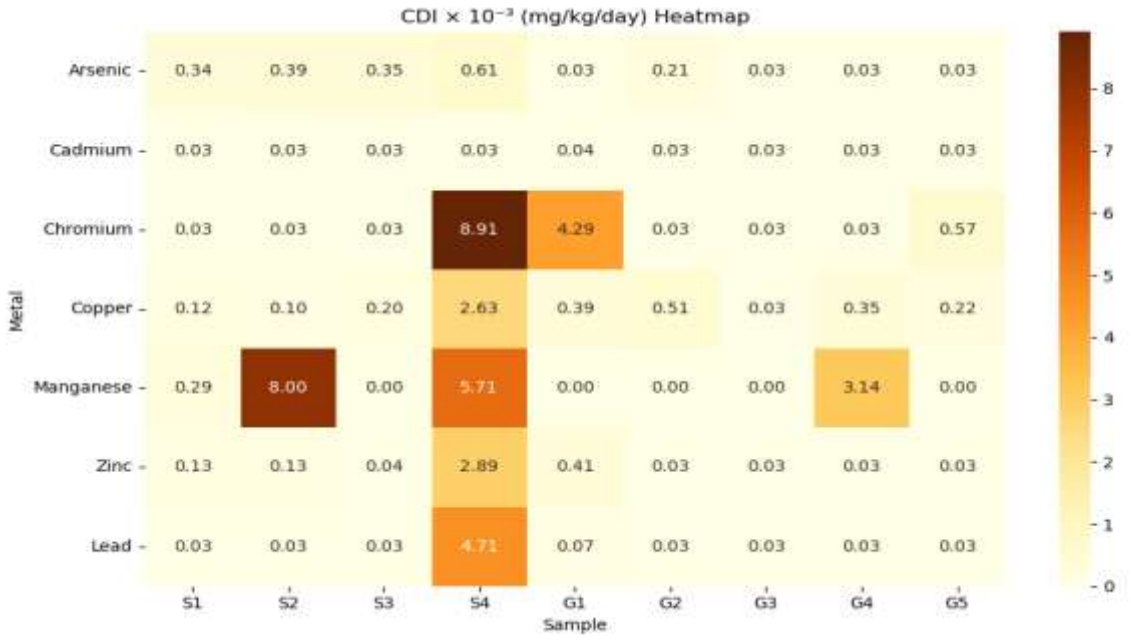
ویرایشگاری نشده



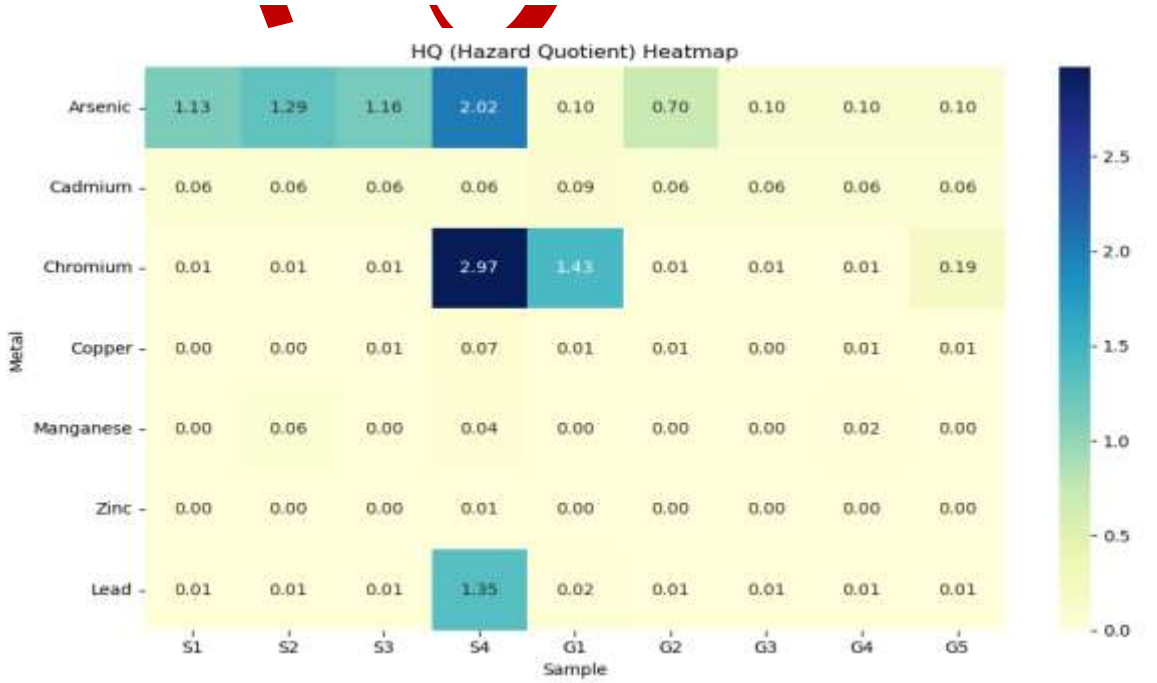
شکل ۱۳: نتایج مقایسه پارامترهای کیفیت آب با استانداردهای ملی ایران و سایر استانداردهای بین‌المللی

ارزیابی شاخص‌های ریسک سلامتی:

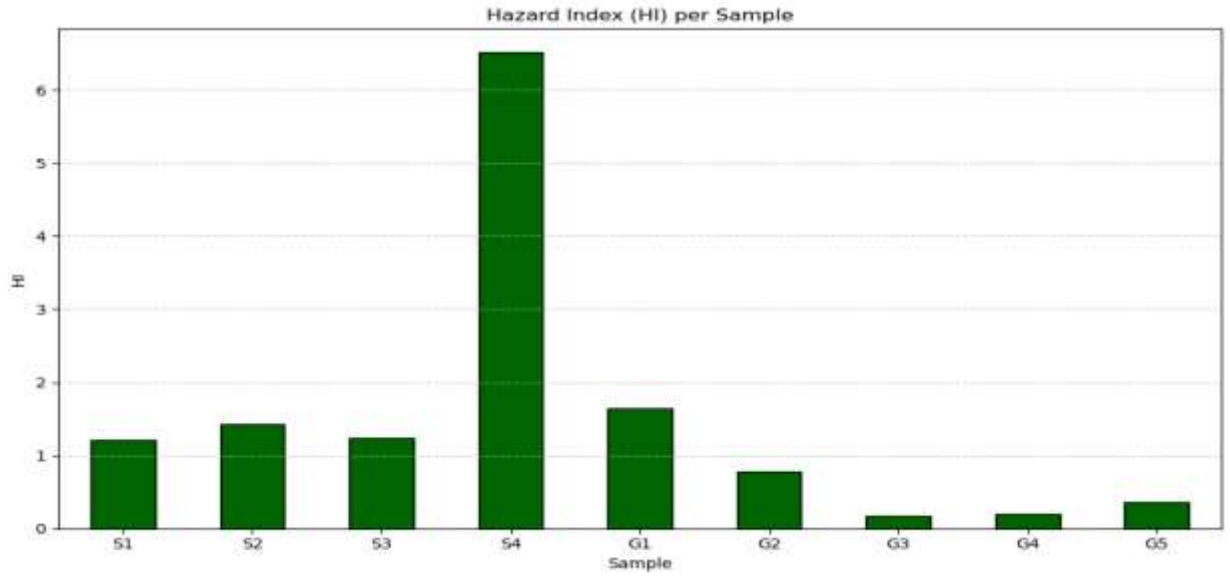
عناصر سنگین اندازه‌گیری‌شده در منابع آب سطحی و زیرزمینی محدوده شهرک صنعتی چرمشهر ورامین به دلیل اهمیت زیست‌محیطی و بهداشتی مورد ارزیابی خطر سلامت قرار گرفتند. ارزیابی خطر مستلزم ارزیابی احتمال و اثرات سلامتی حوادث ناشی از عوامل خطر محیطی بر انسان و حیوانات است. اشکال ۱۴،۱۵ و ۱۶ مقادیر محاسبه شدهCDI ، HQو HI را در نمونه‌های آب سطحی و زیرزمینی نشان می‌دهد .



شکل۱۴: مصرف روزانه مزمن در نمونه های آب سطحی و زیرزمینی



شکل ۱۵: ضریب خطردر نمونه های آب سطحی و زیرزمینی



شکل۱۶: شاخص خطر در نمونه های آب سطحی و زیرزمینی

سطوح خطر غیرسرطان‌زا در میان فلزات سنگین موردمطالعه متفاوت است. از بین ایستگاه‌های موردمطالعه، ایستگاه S4 (محل ورود پساب به رودخانه جاجرود) نسبت به سایر ایستگاه‌ها در خصوص فلزات کروم، مس، منگنز، روی و مس با مقادیر بالاتر CDI ، دارای سطوح خطر غیرسرطان‌زایی نسبتاً بالاتری است. در بین فلزات سنگین موردمطالعه، آرسنیک و کروم با مقادیر بالاتر HQ ، دارای سطوح خطر غیرسرطان‌زایی بالاتری هستند.

مقادیر HQ کمتر از یک نشان می‌دهد خطرات بهداشتی مرتبط با قرارگرفتن در معرض فلز سنگین در محدوده ایمن است. بااین‌حال، توجه به این نکته مهم است که قرارگرفتن طولانی‌مدت در معرض فلزات سنگین، حتی در سطوح پایین، همچنان می‌تواند اثرات تجمعی بر سلامتی در طول زمان داشته باشد. ازاین‌رو، نظارت و ارزیابی مستمر کیفیت آب برای اطمینان از ایمنی بهداشت عمومی ضروری است.

مقادیر HI خطر تجمعی سلامت ناشی از قرارگرفتن در معرض چندین فلز سنگین را اندازه‌گیری می‌کند. مطابق با نتایج جدول ۳، مشخص می‌شود که تمام نمونه‌های آب‌های سطحی با شاخص $HI \geq 1$ خطر غیرسرطان‌زایی قابل‌توجهی دارند. ایستگاه S4 که در پایین‌دست شهرک صنعتی واقع شده و محل ورود پساب شهرک صنعتی به رودخانه جاجرود است، نسبت به سایر ایستگاه‌ها با خطر بیماری‌زایی بیشتری مواجه است. این مقادیر HI نشان می‌دهد که به طور متوسط، افراد بالغ ممکن است در معرض خطر سلامتی بالاتر از آستانه ایمنی یک قرار گیرند که نشان‌دهنده نگرانی بالقوه در مورد اثرات نامطلوب سلامتی ناشی از قرارگرفتن در معرض فلزات سنگین است .در نمونه‌های آب زیرزمینی، فقط ایستگاه G1 با شاخص $HI \geq 1$ خطر غیرسرطان‌زایی دارد. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده، اجرای راهکارهای مدیریتی به‌منظور کاهش ریسک‌های بهداشتی ناشی از فلزات سنگین ضروری است؛ بنابراین بهبود کارایی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی و به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته حذف فلزات سنگین می‌تواند به طور مؤثری از ورود آلاینده‌ها به منابع آب جلوگیری کند .همچنین، پایش مستمر پساب‌های صنعتی و اعمال استانداردهای زیست‌محیطی سخت‌گیرانه در کاهش آلودگی نقش مهمی دارد. در کنار آن، توسعه نوارهای حائل گیاهی در حاشیه رودخانه‌ها می‌تواند به‌عنوان یک فیلتر طبیعی در کاهش انتقال فلزات سنگین به آب‌های سطحی عمل کند(Fu & Wang, 2011).

نسخه آزمایشی ثبت شده

نتیجه‌گیری:

دشت ورامین در زمره مناطقی است که تحت‌تأثیر رشد تهران و نیازهای اقتصادی منطقه، شاهد رشد فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و انسانی قابل‌ملاحظه‌ای بوده است. مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آبی دشت ورامین شامل آلاینده‌های ناشی از اجتماعات انسانی (فاضلاب‌های خانگی و زباله‌ها) فعالیت‌های کشاورزی، دامپروری و فاضلاب‌های صنعتی است که راه‌یابی آن‌ها به پهنه‌های آبی می‌تواند پیامدهایی مانند افزایش غلظت نیتروژن، فسفر و اکسیژن موردنیاز بیولوژیکی را به همراه داشته باشد؛ بنابراین بررسی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی محدوده شهرک صنعتی چرمشهر و سنجش میزان کیفیت آن‌ها از نظر شناخت میزان آلایندگی این منابع و همچنین شناخت ارتباط بین منابع آلاینده ناشی از فعالیت واحدهای صنعتی در شهرک صنعتی و خاک منطقه دارای اهمیت است. در این مطالعه از شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI) که باهدف استفاده از روش مناسب با شرایط طبیعی و مسائل و مشکلات منابع آب ایران تهیه شده است، استفاده گردید. به‌طورکلی نتایج بررسی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی متأثر از فعالیت‌های شهرک صنعتی چرمشهر کیفیت بد و خیلی بد منابع آبی را نشان داد که برای مصارف آبیاری و شرب دارای محدودیت می‌باشند. مقایسه غلظت فلزات سنگین با مقادیر استاندارد نشان داد که غلظت آرسنیک، آهن، سرب و کروم در آب‌های سطحی و آهن و کروم در آب‌های زیرزمینی بیش از حد مجاز است. همچنین نتایج ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی نشان داد که در میان فلزات سنگین موردمطالعه، آرسنیک و کروم به دلیل مقادیر بالاترHQ ، بیش‌ترین سهم را در ایجاد مخاطرات بهداشتی غیرسرطان‌زا دارند. براین‌اساس، استقرار نظام پایش مستمر و هدفمند کیفیت منابع آب در منطقه، همراه با اتخاذ راهبردهای پیشگیرانه به‌منظور کنترل و کاهش ورود آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سنگین به آب‌های سطحی و زیرزمینی، ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر این، به‌کارگیری روش‌های تصفیه کارآمد و متناسب با شرایط منطقه، پیش از بهره‌برداری مصرف‌کنندگان از این منابع، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش غلظت عناصر سنگین و ارتقای ایمنی بهداشتی آب ایفا کند.

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد

منابع

۱. آقایانی، احسان؛ شکوهیان، سکینه؛ بهنامی، علی؛ عبدالله‌نژاد، علی؛ پور اکبر، مجتبی؛ حق نظر، حامد و مهدوی، وحیده (۱۴۰۲). ارزیابی خطر بهداشتی ناشی از وجود فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی شهر مراغه. *فصلنامه سلامت و محیط‌زیست*، *۱۶*(۱)، ۳۱–۵۲.

۲. اکبری، فرزاد؛ جعفری محمدآبادی، الهام و باقری، رحیم (۱۳۹۷). ارزیابی غلظت فلزات سنگین رودخانه کهمان در شهرستان الشتر. *یازدهمین همایش ملی تخصصی زمین شناسی دانشگاه پیام نور و بیست و یکمین همایش انجمن زمین شناسی ایران*.

۳. رفیعی، غلامرضا؛ معزی، فاتح؛ پورباقر، هادی؛ رضایی توابع، کامران و نعمت اللهی، محمدعلی (۱۴۰۲). مطالعه کیفیت آب رودخانه‌های بالیقلی‌چای و قره‌سو دره‌رود با استفاده از شاخص‌های زیستی بی‌مهرگان کفزی و شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQISC).*نشریه محیط زیست طبیعی*، *۷۴* (۴).

۴. سالاری، مرجان (۱۴۰۳). بررسی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت (مطالعه موردی: دشت شیراز). *مطالعات علوم محیط زیست*، *۸*(۴)، ۷۵۷۴–۷۵۸۶.

۵. سلگی، عیسی؛ بیگ محمدی، فوزیه؛ احمدوند، راضیه و باصر، سارا (۱۴۰۳). ارزیابی ریسک نیترات در آب آشامیدنی مناطق مختلف شهر ملایر. *نشریه رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست*، ۳(۲)، ۱۰۱–۱۱۷.

ویرایش نشده

۶. سلگی، عیسی؛ بیگ محمدی، فوزیه؛ روزبهانی، زهره؛ و قیاسوند، شهرزاد (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت ملایر از نظر شرب و کشاورزی. *علوم و مهندسی آبیاری*، *۴۵*(۳)، ۹۷–۱۱۱.
۷. عامری، نرگس؛ گودینی، حاتم؛ ضرابی، منصور و متولی، محمد درویش (۱۴۰۳). بررسی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی چرمشهر و پتانسیل استفاده مجدد از پساب و لجن دفعی. *نشریه سلامت و محیط‌زیست*، *۱۷*(۴)، ۷۵۷–۷۷۴.
۸. غضبان، فریدون؛ وحیدی، حسین؛ طایفه، سید مسعود و موسوی، سید وحید (۱۳۹۴). بررسی وضعیت مدیریت پسماند در شهرک صنعتی چرمشهر و سالاریه با دیدگاه توسعه پایدار و تحلیل سلسله مرتبی. *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*، *۴۶*(۱)، ۷۷–۹۰.
۹. کمری، زهره؛ علیپور، ولی؛ دین‌دار لو، کاووس؛ فضل‌زاده، مهدی؛ قنبرنژاد، امین و غفاری، حمیدرضا. (۱۴۰۱). ارزیابی ریسک سرطان‌زایی ناشی از مواجهه با فلزات سنگین ازطریق مصرف آب آشامیدنی (مطالعه موردی آب آشامیدنی شهر بندرعباس). *فصلنامه طب پیشگیری*، ۹(۲)، ۹۰–۱۰۱.
۱۰. لرستانی، بهاره؛ مریخ پور، هاجر و چراغی، مسعود (۱۳۹۹). بررسی مقطعی روند تغییرات کیفی آب دریاچه سد کلان ملایر (مطالعه موردی : ۱۳۹۷–۱۳۹۶). *نشریه مهندسی بهداشت محیط*، *۸*(۱)، ۹۹–۱۱۶.
۱۱. محمودی، منظر و عرفانیان، مهدی (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت نقده– اشنویه. *پژوهش های محیط زیست*، ۱۳(۲۵)، ۳۳–۵۰.
۱۲. مقدم یکتا، نارلی؛ جوزی، سید علی و کریمی، عبدالرضا. (۱۳۹۹). بررسی وضعیت کیفی حوزه آبریز گدارچای ارومیه با استفاده از شاخص کیفیت منابع آب ایران و مدل آسیب‌پذیری راستیک. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۲(۲)، ۷۹–۹۱.
۱۳. موسوی راد، سید مرتضی؛ صفاری، محبوب؛ حسنی، محمدجواد؛ شاکری، مرجان و نظری، نجمه (۱۴۰۱). ارزیابی و پایش کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقهٔ معدنی مس چهارگنبد، تحت تأثیر سد باطله. *نشریه محیط زیست طبیعی*، *۷۵*(۱)، ۱۰۴–۱۱۸.
۱۴. یوسف‌زاده، عبدالرحیم؛ شمس خرم‌آبادی، قدرت‌الله؛گودینی، حاتم و حسین‌زاده، ادریس. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه خرم رود خرم‌آباد بر اساس شاخص کیفیت آب (NSFWQI) و سامانه اطلاعات جغرافیایی. (GIS) شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، ۸۲–۹۲.

References

Aghayani, E., Shokouhian, S., Behnami, A., Abdollahnejad, A., Pourakbar, M., Hagh Nazar, H. & Mahdavi, V. (2023). Health risk assessment of heavy metals in drinking water resources of Maragheh City. Journal of Health and Environment, 16(1), 31–52. (In Persian).

Akbari, F., Jafari Mohammadabadi, E. & Bagheri, R. (2018). Assessment of heavy metal concentrations in Kahman River in Aleshtar County. 11th National Specialized Conference on Geology, Payame Noor University & 21st Conference of the Geological Society of Iran. (In Persian).

Akkoyunlu, A. & Akiner, M. E. (2012). Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. Ecological Indicators, 18, 501–511.

Al-wakeel, K., Aly, M., Elhoweity, M., ElFadaly, E. & Al-Said, A. (2018). Synthesis of chitosan@activated carbon beads with abundant amino groups for capture of Cu(II) and Cd(II) from aqueous solutions. Journal of Polymers and the Environment, 26.

Ameri, N., Goodini, H., Zarrabi, M. & Motavalli, M. D. (2024). Evaluation of wastewater treatment plant performance in Charmshahr Industrial Town and the potential for reuse of effluent and sludge. Journal of Health and Environment, 17(4), 757–774. (In Persian).

ویراستاری شده

Association, A. P. H., Association, A. W. W. & Federation, W. E. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). American Public Health Association.

Demir, V. & Dere, S. (2015). Determination and health risk assessment of heavy metals in drinking water of Tunceli, Turkey. Water Resources, 42(4), 508–515.

Egbueri, J. & Mgbenu, C. (2020). Chemometric analysis for pollution source identification and human health risk assessment of water resources in Ojoto Province, southeast Nigeria. Applied Water Science, 10, 98.

Emamgholizadeh, S., Kashi, H., Maroufpoor, E. & Zalaghi, E. (2013). Prediction of water quality parameters of Karoon River (Iran) by artificial intelligence-based models. International Journal of Environmental Science and Technology, 11(3), 645–656.

Fu, F. & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. Journal of Environmental Management, 92(3), 407–418.

Ghazban, F., Vahidi, H., Tayefeh, S. M. & Mousavi, S. V. (2015). Assessment of waste management status in Charmshahr and Salariyeh industrial towns using a sustainable development approach and hierarchical analysis. Amirkabir Journal of Civil Engineering, 46(1), 77–90. (In Persian).

Kamari, Z., Alipour, V., Dindarloo, K., Fazlzadeh, M., Ghanbarnejad, A. & Ghaffari, H. (2022). Cancer risk assessment due to exposure to heavy metals through drinking water consumption (Case study: Bandar Abbas drinking water). Journal of Preventive Medicine, 9(2), 90–101. (In Persian).

Kumar, A. & Singh, A. (2024). Geospatial mapping and entropy-based analysis for groundwater evaluation with estimation of potential health risks due to nitrate and fluoride exposure. Environmental Science and Pollution Research, 31(59), 66953–66976.

Lorestani, B., Marikhpour, H. & Cheraghi, M. (2020). Cross-sectional study of temporal changes in water quality of Kalan Dam Lake in Malayer (Case study: 2017–2018). Journal of Environmental Health Engineering, 8(1), 99–116. (In Persian).

Mahmoudi, M. & Erfanian, M. (2022). Assessment of surface and groundwater resources quality in Naqadeh–Oshnavieh Plain. Environmental Researches, 13(25), 33–50. (In Persian).

Moghadam Yekta, N., Joozi, S. A. & Karimi, A. (2020). Evaluation of water quality status of the Gadar River Basin in Urmia using Iran Water Resources Quality Index and DRASTIC vulnerability model. Journal of Environmental Science and Technology, 22(2), 79–91. (In Persian).

Mousavi Rad, S. M., Saffari, M., Hasani, M. J., Shakeri, M. & Nazari, N. (2022). Assessment and monitoring of surface and groundwater quality in the Chaharganbad copper mining area under the influence of tailings dam. Natural Environment Journal, 75(1), 104–118. (In Persian).

Rafiei, G., Moezzi, F., Pourbagher, H., Rezaei Tabe', K. & Nematollahi, M. (2023). Study of water quality of Baliqli-Chay and Gharasu rivers in Dareh-Roud using benthic macroinvertebrate biological indices and Iran Water Resources Quality Index (IRWQISC). Natural Environment Journal, 74(4). (In Persian).

Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. Functional Plant Biology, 37, 613–620.

Salari, M. (2024). Assessment of groundwater quality using water quality indices for drinking, agricultural, and industrial uses (Case study: Shiraz Plain). Environmental Sciences Studies, 8(4), 7574–7586. (In Persian).

Selgi, I., Big Mohammadi, F., Ahmadvand, R. & Basir, S. (2024). Nitrate risk assessment in drinking water of different areas of Malayer City. Journal of New Approaches in Water and Environmental Engineering, 3(2), 101–117. (In Persian).

Selgi, I., Big Mohammadi, F., Rouzbehani, Z. & Ghiasvand, S. (2022). Assessment of surface and groundwater resources quality in Malayer Plain for drinking and agricultural purposes. Irrigation and Water Engineering, 45(3), 97–111. (In Persian).

Shahsavani, S., Mohammadpour, A., Shooshtarian, M. R., Soleimani, H., Ghalhari, M. R., Badeenezhad, A., Baboli, Z., Morovati, R. & Javanmardi, P. (2022). An ontology-based study on water quality: Probabilistic risk assessment of exposure to fluoride and nitrate in Shiraz drinking water, Iran using fuzzy multi-criteria group decision-making models. Environmental Monitoring and Assessment, 195(1), 35.

Shtull-Trauring, E., Cohen, A., Ben-Hur, M., Tanny, J. & Bernstein, N. (2020). Reducing salinity of treated wastewater with large-scale desalination. Water Research, 186, 116322.

Skoog, D. A., Holler, F. J. & Crouch, S. R. (2018). Principles of instrumental analysis (7th ed.). Cengage Learning.

Wilcox, L. V. (1958). Determining the quality of irrigation water.

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

Yousefzadeh, A., Shams Khoramabadi, G., Goodini, H. & Hosseinzadeh, I. (2013). Zoning of water quality of Khorram River in Khorramabad based on National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI) and geographic information system (GIS). 16th National Conference on Environmental Health, Iran, 82–92. (In Persian).

Zacchaeus, O. O., Adeyemi, M. B., Azeem Adedeji, A., Adegoke, K. A., Anumah, A. O., Taiwo, A. M. & Ganiyu, S. A. (2020). Effects of industrialization on groundwater quality in Shagamu and Ota industrial areas of Ogun State, Nigeria. Heliyon, 6(7), e04353.

Zhou, Y., Li, P., Chen, M., Dong, Z. & Lu, C. (2021). Groundwater quality for potable and irrigation uses and associated health risk in southern part of Gu'an County, North China Plain. Environmental Geochemistry and Health, 43(2), 813–835.