



## Calculating the Groundwater Quality Index and Comparing It to the Carcinogenic and Non-Carcinogenic Risk

Nasser Jabraili Andaryan<sup>1</sup> | Ataallah Nadiri<sup>2</sup> | Saleh Taheri Zangi<sup>3</sup> |  
Zahra Sedghi<sup>4</sup>

1. Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: [nasserjabraili@gmail.com](mailto:nasserjabraili@gmail.com)
2. Corresponding Author, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: [nadiri@tabrizu.ac.ir](mailto:nadiri@tabrizu.ac.ir)
3. Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: [taherizangi\\_saleh@yahoo.com](mailto:taherizangi_saleh@yahoo.com)
4. Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: [sedghizahra93@gmail.com](mailto:sedghizahra93@gmail.com)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

### Article history:

Received: 7 December 2022  
Received in revised form:  
16 March 2023  
Accepted: 6 June 2023  
Published online: 2 July 2023

### Keywords:

*Carcinogenic and non-carcinogenic health risk Groundwater Quality Index, Geogenic and anthropogenic contamination.*

### ABSTRACT

In order to investigate the quality of groundwater in September 2022, 35 samples were collected from various groundwater sources in the Azarshahr plain, and the main elements, nitrates, and trace elements such as chromium, cadmium, nickel, lead, and arsenic, as well as two types of pesticides such as imidacloprid and chlorpyrifos, were analyzed and compared to drinking water standards. The drinking water quality index for the study area was calculated based on the concentration of parameters in the samples, and the health risk of cancerous and non-cancerous diseases for two age groups, children and adults, was calculated using the criteria of the United States Environmental Protection Agency (USEPA). According to the findings of the studies, the region's water quality index is average, and the non-carcinogenic risk index for children and adults is less than one. It is hazardous, but the risk of carcinogenesis in the entire region is greater than  $10^{-4}$ , and its consumption poses health hazards due to skin contact. The health risk of cancer is many times higher in the region's south, in the cities of Azarshahr and Gogan, as well as the adjacent villages. The correlation between the GQI map and the health risk maps revealed that the correlation of carcinogenic risk is greater than the correlation of non-carcinogenic risk, and based on the correlation between the parameters in the region's groundwater, the elements influencing the health risk of carcinogenesis caused by geogenic factors and human activities do not play a significant role.

**Cite this article:** Jabraili Andaryan, N., Nadiri, A., Taheri Zangi, S., & Sedghi, Z. (2023). Calculating the Groundwater Quality Index and Comparing It to the Carcinogenic and Non-Carcinogenic Risk. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (2), 369-384. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.351923.1034>





## تعیین شاخص کیفیت آب زیرزمینی و مقایسه آن با نتایج ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی

ناصر جبرائیلی اندریان<sup>۱</sup> | عطاءاله ندیری<sup>۲</sup> | صالح طاهری زنگی<sup>۳</sup> | زهرا صدقی<sup>۴</sup>

۱. گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: [nasserjabraili@gmail.com](mailto:nasserjabraili@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: [nadiri@tabrizu.ac.ir](mailto:nadiri@tabrizu.ac.ir)
۳. گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: [taherizangi\\_saleh@yahoo.com](mailto:taherizangi_saleh@yahoo.com)
۴. گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: [sedghizahra93@gmail.com](mailto:sedghizahra93@gmail.com)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

در این پژوهش به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی، در شهریورماه سال ۱۴۰۰ تعداد ۳۵ نمونه از نقاط مختلف منابع آب زیرزمینی دشت آذرشهر برداشته شده و عناصر اصلی، فرعی، کمیاب (کروم، کادمیوم، نیکل، سرب و آرسنیک) و همچنین دو نوع آفت‌کش ایمیداکلوپراید و کلریپیرفوس برطبق روش‌های استاندارد آنالیز شده و با استانداردهای آب شرب مقایسه گردید. براساس غلظت یون‌های موجود در نمونه‌ها، ارزیابی شاخص کیفیت آب شرب برای منطقه مطالعاتی انجام و در مرحله بعد ریسک بهداشتی بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی برای دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان با استفاده از معیارهای آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA) انجام شده است. براساس نتایج بررسی‌ها، شاخص کیفیت آب منطقه در حد متوسط به‌دست آمده و همچنین شاخص ریسک غیرسرطان‌زایی برای بزرگسالان کمتر از یک بوده و برای کودکان تنها در بخش کوچکی از منطقه مطالعاتی بیش‌تر از یک است و این بدین معناست که آب زیرزمینی منطقه از نظر ایجاد ریسک بیماری‌های غیرسرطانی در محدوده خطر قرار نداشته و کمتر از حد آستانه خطر است، اما ریسک سرطان‌زایی در کل منطقه بیش‌تر از  $10^{-4}$  بوده و مصرف ادامه‌دار این منابع آب شرب از مسیر پوستی و بلع احتمال ریسک بهداشتی و سلامتی را برای ساکنین به‌دنبال خواهد داشت که با توجه به نقشه نهایی ریسک، در جنوب شهرستان آذرشهر، گوگان و روستاهای اطراف ریسک بهداشتی سرطانی به‌مراتب بیش‌تر از سایر نقاط است. همبستگی محاسبه‌شده بین نقشه GQI و نقشه‌های ریسک سلامت نشان داد که همبستگی ریسک سرطان‌زایی بیش‌تر از غیرسرطان‌زایی است و براساس همبستگی بین عناصر موجود در آب زیرزمینی منطقه، عناصر تأثیرگذار در ریسک سلامتی سرطان‌زایی در اثر عوامل زمین‌زاد ایجادشده و فعالیت‌های انسانی نقش چندانی نداشته است.

### کلیدواژه‌ها:

آلودگی زمین‌زاد و انسان‌زاد، ریسک سلامتی سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی، شاخص کیفیت آب زیرزمینی.

**استناد:** جبرائیلی اندریان، ناصر؛ ندیری، عطاءاله؛ طاهری زنگی، صالح و صدقی، زهرا (۱۴۰۲). تعیین شاخص کیفیت آب زیرزمینی و مقایسه آن با نتایج ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۳ (۲)، ۳۶۹-۳۸۴. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.351923.1034>



## ۱. مقدمه

کیفیت آب زیرزمینی تابعی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بوده و به شدت تحت تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی است که مسائل گسترده آلودگی آب را ایجاد می‌کند و این آلودگی نه تنها ممکن است با تغییرات فیزیکی و بیولوژیکی همراه باشد بلکه به دلیل حل شدن فزاینده مواد سمی و نامطلوب در آب، آلودگی شیمیایی نیز امکان‌پذیر است که آلاینده‌ها با ایجاد تغییرات مذکور کیفیت آب را تنزل می‌دهند و در مراحل آب را برای اغلب مصارف به‌ویژه برای شرب که مرتبط با سلامت انسان است غیرقابل استفاده می‌سازند. برخی از آلاینده‌ها زوال‌پذیرند و به‌آسانی تجزیه شده یا تقلیل می‌یابند مانند مواد زائد کشاورزی ولی بعضی دیگر زوال‌ناپذیرند مانند عناصر کمیاب کادمیوم، سرب، آرسنیک و غیره (Samavati et al., 1999; Bagheri et al., 2000).

تاکنون شاخص‌های متعددی برای بررسی کیفیت آب شرب ارائه شده است که می‌توان به شاخص‌های WQI<sup>۱</sup> (Lobato et al., 2015)، NSFQI (Giordani, 2009)، GQI<sup>۲</sup> (Babiker et al., 2007) و ... اشاره کرد. شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) یکی از پرکاربردترین این شاخص‌ها است که این روش اولین بار در آبخوان Nasuno توسط Babiker et al. (2007) در کشور ژاپن به کار گرفته شده است. این شاخص بر پایه نرم‌افزار ArcGIS بوده و خروجی آن نقشه واحدی از تلفیق چندین پارامتر مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی است که بیانگر تغییرات مکانی کیفیت آب در کل منطقه خواهد بود. پژوهش‌گران متعددی از این شاخص برای تعیین کیفیت آب و تحلیل و تفسیر آن استفاده کرده و با روش‌های مختلف سعی در بهبود این روش داشته‌اند، به طوری که Dashti Barmaki et al. (2014) برای ارزیابی کیفیت آب آبخوان لنجانان از شاخص GQI استفاده کرده‌اند و در این پژوهش، نقشه شاخص کیفیت آب را با نقشه کاربری اراضی مقایسه شده که نتایج بیانگر کیفیت پایین آب در شالیزارهای اطراف زاینده‌رود بوده است. Nadiri et al. (2021) با انجام پژوهشی، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) را با الگوریتم ژنتیک، منطق فازی و فازی گاما ترکیب کرده و کیفیت آب شرب در آبخوان شمال شرقی بیجار استفاده کرده‌اند. همچنین در سال‌های اخیر می‌توان به مطالعات Khosravi et al. (2016)، Alipour et al. (2017)، Sun et al. (2019)، El Baba et al. (2020)، Sabzevari et al. (2020)، Zheng et al. (2020)، Mohammadi et al. (2021)، Nadiri et al. (2022) در مورد کیفیت آب اشاره داشت.

ارزیابی ریسک سلامت یک ابزار مهم برای تعیین اثرات نامطلوب بالقوه آب آلوده بر سلامتی انسان است. ارزیابی ریسک سلامت شامل مراحل اساسی شناسایی خطر، ارزیابی پاسخ به دوز، ارزیابی مواجهه و توصیف ریسک است (Rajaei et al., 2012). ارزیابی ریسک سلامت براساس دستورالعمل ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) انجام می‌گیرد که بر این اساس پژوهش‌گران در نقاط مختلف جهان مطالعات متعددی انجام داده‌اند. به عنوان مثال Kumar et al. (2017) با استفاده از تحلیل آماری چندمتغیره به بررسی ریسک سلامتی ناشی از مصرف آب‌های زیرزمینی آلوده شده به عناصر سمی و کمیاب پرداخته‌اند و نتایج این پژوهش نشان داده که کروم و اورانیوم پر ریسک‌ترین عناصر در منابع آبی منطقه هستند (Kumar et al., 2017). در طی پژوهشی (Rezaei et al., 2019) به ارزیابی ریسک عناصر کمیاب موجود در آب آشامیدنی استان کردستان پرداخته‌اند که نتایج پژوهش بیانگر این است که میزان ریسک سرطانی و غیرسرطانی پایین‌تر از حد آستانه خطر قرار دارد. طی پژوهشی، Kamari et al. (2022) به ارزیابی ریسک سرطان‌زایی عناصر کمیاب در شهر بندرعباس پرداخته‌اند که در یافته‌های حاصل از این پژوهش، میانگین غلظت آرسنیک، نیکل، سرب و کادمیوم در آب آشامیدنی به ترتیب برابر با  $۱/۲۵ \times 10^{-۳}$ ،  $۷/۲۳ \times 10^{-۴}$ ،  $۱/۲۳ \times 10^{-۳}$  و  $۵ \times 10^{-۴}$  (میکروگرم بر لیتر) و ریسک سرطان‌زایی ناشی از عناصر ذکر شده به ترتیب برابر با  $۱/۲۳ \times 10^{-۴}$ ،  $۸/۸۹ \times 10^{-۵}$ ،  $۲/۰۷ \times 10^{-۶}$  و  $۲/۲۳ \times 10^{-۵}$  بوده و با توجه به نتایج میانگین غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در آب آشامیدنی و ریسک آن‌ها، همه عناصر به جز آرسنیک پایین‌تر از حد آستانه خطر قرار

داشته است (Kamari et al., 2022). همچنین می‌توان به مطالعات (Rajaei et al., 2012)، (Ghaderpoori, 2018)، (Ahmad and Muhammad, 2020)، (Zhao et al., 2020) مرتبط با شاخص ریسک سلامت سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی اشاره داشت که همه پژوهش‌گران براساس روش ارائه‌شده توسط EPA ایالات متحده به ارزیابی شاخص ریسک سلامت در مناطق مختلف جهان پرداخته‌اند.

در سال‌های اخیر برخی از پژوهش‌گران شاخص کیفیت آب زیرزمینی و ریسک سلامت را هم‌زمان در یک مطالعه بررسی کرده و مورد تحلیل و تفسیر قرار داده‌اند. به‌عنوان مثال، (Adimalla et al., 2019) در طی پژوهشی به محاسبه شاخص کیفیت آب برای اهداف آسامیدنی و آبیاری و همچنین ارزیابی ریسک سلامتی منابع آبی در هند پرداخته‌اند، نتایج آنالیزهای شیمیایی وجود غلظت‌های بالایی از فلوراید و نترات را در منطقه نشان داده است در این پژوهش ریسک سلامتی غیرسرطان‌زایی مرتبط با این آنومالی‌ها را ارزیابی و با استفاده از مدل ریاضیاتی USEPA بررسی کرده‌اند که در این پژوهش با توجه به دیاگرام ویلکاکس، بیش‌تر نمونه‌های آب برای مصارف آبیاری مناسب اما برای اهداف نامناسب بوده است و کودکان نیز نسبت به بزرگسالان بیش‌تر در معرض ریسک ناشی از بیماری‌های غیرسرطان‌زا قرار داشته‌اند (Adimalla et al., 2019). طی پژوهشی (Şener et al., 2022) با استفاده از شاخص WQI و شاخص ریسک سلامت انسان به ارزیابی کیفیت آب و ریسک سلامتی تالاب کرمیک ترکیه پرداخته‌اند و نتایج بیانگر وجود اثرات منفی غیر سرطان‌زایی<sup>۴</sup> پارامترهای  $\text{NO}_3^-$ ، Fe، Pb و As در آب زیرزمینی بر سلامت کودکان است و همچنین غلظت Pb و As در همه نمونه‌های آنالیزشده احتمال ریسک سرطان‌زا<sup>۵</sup> برای کودکان و بزرگسالان را به‌همراه داشته و استفاده از این منابع برای اهداف شرب توصیه نشده است (Şener et al., 2022). با توجه به بررسی منابع مختلف، در مطالعات قبلی ارتباط بین نقشه توزیع مکانی شاخص کیفیت آب زیرزمینی با نقشه توزیع مکانی ریسک سلامت سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی بررسی نشده است. هدف از مطالعه حاضر، تعیین کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف شرب با استفاده از شاخص GQI و همچنین بررسی ریسک سلامتی آن براساس غلظت عناصر و تأثیر سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی آن‌ها بر کودکان و بزرگسالان در آبخوان دشت آذرشهر است. به‌دلیل اهمیت مسائل بهداشتی مرتبط با سلامت انسان و با توجه به این‌که تاکنون مطالعه‌ای مرتبط با ریسک سلامت سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی عناصر کمیاب موجود در آب شرب محدوده مورد مطالعه انجام نگرفته است، لذا در این پژوهش غلظت عناصر کمیاب در آب آسامیدنی آبخوان دشت آذرشهر اندازه‌گیری و با استاندارد ملی ۱۰۵۳ ایران (ISIRI)<sup>۶</sup>، استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO)<sup>۷</sup> و استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA)<sup>۸</sup> مقایسه انجام‌شده و در مرحله بعد تعیین ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی به‌ترتیب در اثر عناصر کمیاب آرسنیک، کادمیوم، کروم، نیکل، سرب و نترات برای دو گروه سنی کودکان و بزرگسالان با استفاده از شاخص‌های آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده انجام گرفته است. همچنین در این پژوهش همبستگی شاخص کیفیت آب زیرزمینی با شاخص ریسک سلامت با استفاده از همبستگی پیرسون مورد ارزیابی قرار گرفته که در مطالعات قبلی بررسی نشده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعت ۵۸۰ کیلومتر مربع در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب تبریز و در ساحل شرقی دریاچه ارومیه واقع شده که وسعت دشت آبرفتی آذرشهر در حدود ۱۳۰ کیلومتر مربع است. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و حوضه آبریز آن نشان داده شده است. رودخانه آذرشهر چای تنها منبع آب

سطحی موجود در منطقه بوده و با توجه به این که این رودخانه فصلی بوده، از این رو اصلی ترین منبع آب برای مصارف کشاورزی، شرب و بهداشت آب زیرزمینی است. با افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی در منطقه به ویژه در قسمت های غربی آن افت داشته و گرادیان هیدرولیکی افزایش یافته و افزایش انحلال مواد، موجب تنزل کیفیت آب شده لذا احتمال بروز ریسک سلامتی برای ساکنین منطقه مورد مطالعه وجود خواهد داشت.

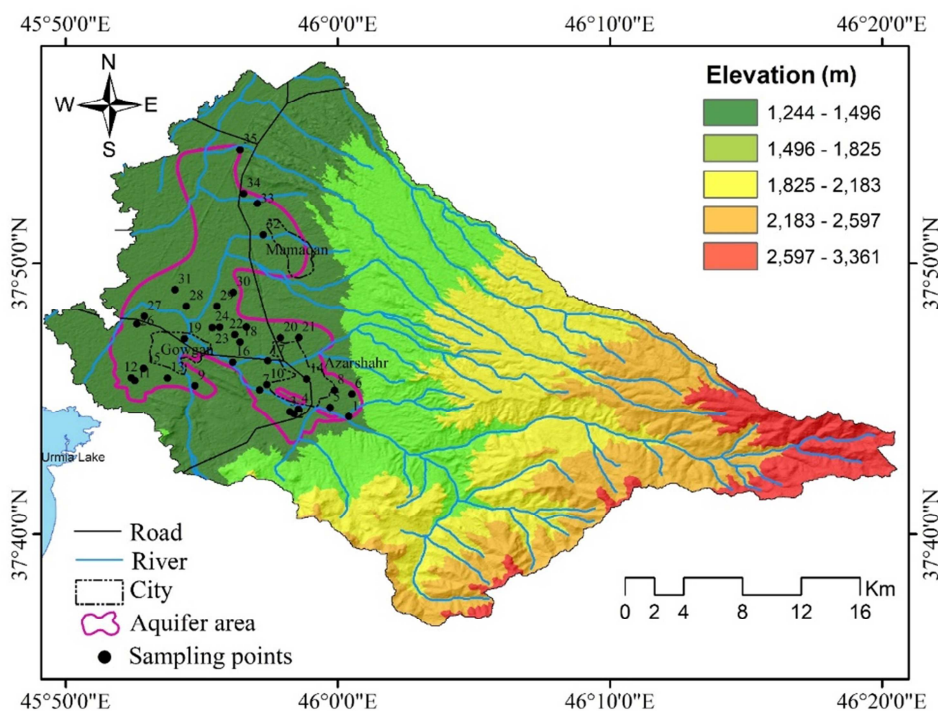


Figure 1. The basic map of the catchment area of the Azarshahr aquifer study area and the location of the sampling points.

## ۲-۲. زمین شناسی

سازندهای زمین شناسی که در مجاورت با مسیر حرکت آب های زیرزمینی قرار دارند در اثر واکنش، باعث تغییر کیفیت آب های زیرزمینی می شوند که حدود این تغییرات و برهمکنش بستگی به لیتولوژی سازند، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مدت زمانی که در مسیر آب قرار دارند، وابسته است که افزایش املاح آب زیرزمینی با افزایش سن و در طول مسیر جریان آن، مؤید این امر است. نهشته های کواترنری که از فرسایش واحدهای آذرین سهند و نیز نهشته های میوسن واقع در ارتفاعات شرقی منطقه حاصل شده اند آبخوان آزاد را در اکثر مناطق دشت تشکیل می دهد. در قسمت های غربی دشت نیز وجود میان لایه هایی از رسوبات رسی متراکم با هدایت هیدرولیکی بسیار پایین بین واحدهای فوق موجب تشکیل آبخوان تحت فشار شده است. البته در چند سال اخیر به دلیل برداشت زیاد از آب های زیرزمینی، آبخوان تحت فشار به آبخوان آزاد تبدیل شده است. عمده تشکیلات زمین شناسی حوضه آبریز منطقه مطالعاتی به طور عمده از رسوبات کواترنری شامل پادگانه های آبرفتی جدید و نمک زارها و سنگ های تراورتن به همراه معادن تراورتن در جنوب دشت دیده می شود. سازندهای ترشیری شامل ماسه سنگ، شیل، مارن و آهک در منطقه مورد مطالعه رخنمون داشته و همچنین سنگ های آتشفشانی اسیدی تا متوسط (داسیتی تا آندزیتی) نیز در منطقه برون زد دارند. شکل (۲)، نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

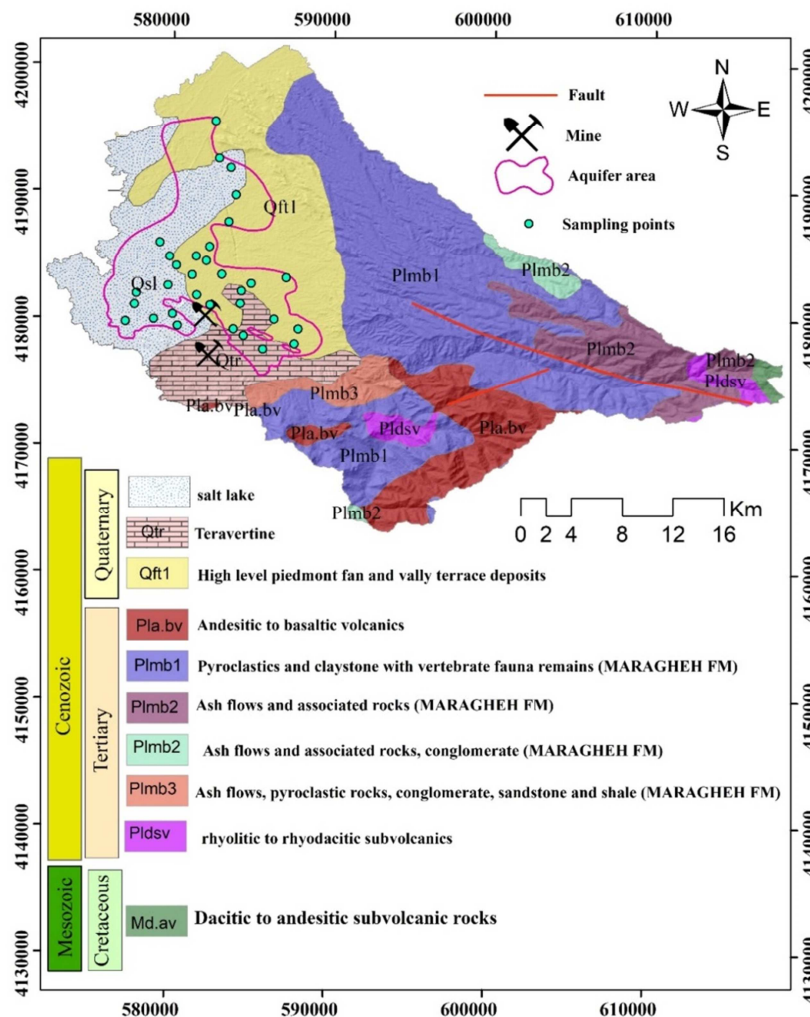


Figure 2. Geological map of Azarshahr watershed (taken from the map of the geological organization of Iran).

### ۲-۳. نمونه برداری و آنالیز داده‌ها

برای انجام این پژوهش در شهریورماه سال ۱۴۰۰ از ۳۵ ایستگاه مختلف با پراکندگی و توزیع مناسب اقدام به نمونه برداری شده است. پارامترهای EC و pH به علت وجود احتمال تغییرات سریع در این پارامترها و کنترل اندازه گیری های آزمایشگاهی علاوه بر آزمایشگاه در محل نمونه برداری نیز با استفاده از دستگاه های قابل حمل با دقت اندازه گیری شده است. روش نمونه برداری و نگاهداری نمونه ها طبق توصیه های (ASTM, 2002) صورت گرفته است. نمونه ها پس از ثبت مشخصات ایستگاه ها در مجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل شده و در کوتاه ترین زمان ممکن نمونه های عناصر کمیاب با روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل (NOVA AA400) در آزمایشگاه خدماتی دانشکده شیمی دانشگاه تبریز آنالیز شده است. نمونه دوم برداشت شده از هر منبع که فاقد اسید بوده جهت اندازه گیری نیتрат در آزمایشگاه آب شناسی دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز و آفت کش ها نیز با دستگاه و روش اندازه گیری LLE/HPLC-Ms/Ms در آزمایشگاه غذا و داروی دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی تبریز آنالیز شده است. در ادامه برای بررسی دقت و صحت آنالیزها در آزمایشگاه های مورد نظر، چندین نمونه اسپایکد و تکراری به آزمایشگاه ها ارسال شد که این دقت به طور

میانگین بین ۹۰ تا ۹۵ درصد بود. داده‌های مربوط به عناصر اصلی نقاط نمونه‌برداری نیز از اداره آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ گردید. توصیف آماری نتایج آنالیزهای نمونه‌های برداشتی از محدوده مورد مطالعه در شهر یورماه ۱۴۰۰ در جدول (۱) آورده شده است.

**Table 1.** Statistical description values related to the concentration of analyzed elements in the study area in September 1400.

Parameters	Units	Range	Min	Max	Mean	Std. Deviation	Variance	CV (%)	WHO Standard	ISIRI
pH	-	1.7	6.5	8.2	7.1	0.4	0.1	5.4	6.5-8.5	6.5-8.5
TDS	(mg/L)	8106.8	265.2	8372	2194.4	2229.2	4969122.5	101.6	500.0	1500.0
EC	( $\mu$ s/Cm)	12472	408	12880	3391.8	3424.6	11727858.5	101.0	500.0	1500.0
Ca <sup>2+</sup>	(mg/L)	1562.93	36.07	1599	377.7	393.0	154418.7	104.0	75.0	300.0
Mg <sup>2+</sup>	(mg/L)	402.99	10.21	413.2	98.4	112.2	12579.0	114.0	30.0	30.0
Na <sup>+</sup>	(mg/L)	855.21	29.89	885.1	201.4	212.2	45049.2	105.4	200.0	200.0
K <sup>+</sup>	(mg/L)	25.024	2.346	27.37	10.1	7.0	48.9	69.6	10.0	12.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(mg/L)	6208.24	45.76	6254	575.4	1000.1	1000213.5	173.8	150.0	150.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	(mg/L)	1756.5	20.5	1777	320.2	351.0	123170.8	109.6	200.0	400.0
Cl <sup>-</sup>	(mg/L)	4139.41	26.59	4166	689.8	1033.8	1068662.9	149.9	250.0	400.0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(mg/L)	34.9	8.6	43.5	26.9	7.0	49.1	26.1	10.0	50.0
Cd	( $\mu$ g/L)	0	0	0	0.0	0.0	0.0	-	5.0	3.0
Cr	( $\mu$ g/L)	72.45	0	72.45	21.1	19.5	380.0	92.6	50.0	50.0
Ni	( $\mu$ g/L)	176.18	38.92	215.1	90.4	51.5	2648.5	56.9	20.0	70.0
Pb	( $\mu$ g/L)	191.72	67.18	258.9	145.9	52.0	2703.9	35.6	10.0	10.0
As	( $\mu$ g/L)	360	4	364	81.4	75.5	5696.8	92.8	10.0	10.0
Imidacloprid	( $\mu$ g/L)	0	0	0	0.0	0.0	0.0	-	-	-
Chlorpyrifos	( $\mu$ g/L)	5.2	0	5.2	0.1	0.9	0.8	591.6	30.0	30.0
Color Code		Pesticide	Trace Element	Minor Element	Major Element	Properties	Bold Value Exceeding Standards			

**Table 2.** Correlation related to the concentration of analyzed parameters in the study area

	EC	pH	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cr	Ni	Pb	As	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
EC	1													
pH	-0.65	1												
K <sup>+</sup>	<b>0.78*</b>	-0.50	1											
Na <sup>+</sup>	<b>0.96**</b>	-0.56	0.89**	1										
Mg <sup>2+</sup>	<b>0.99**</b>	-0.63	0.77*	0.95**	1									
Ca <sup>2+</sup>	<b>0.99**</b>	-0.65	0.71*	0.93**	0.99**	1								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<b>0.94**</b>	-0.52	0.86**	0.97**	0.94**	0.92**	1							
Cl <sup>-</sup>	<b>0.99**</b>	-0.62	0.71*	0.94**	0.99**	0.99**	0.93**	1						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0.35</b>	-0.44	0.78*	0.46	0.33	0.27	0.43	0.23	1					
Cr	<b>0.72*</b>	-0.65	0.52	0.64	0.69*	0.73*	0.58	0.70*	0.33	1				
Ni	<b>0.98**</b>	-0.7*	0.71*	0.9**	0.98**	0.99**	0.90**	0.97**	0.32	0.76*	1			
Pb	<b>0.84**</b>	-0.36	0.81**	0.83**	0.85**	0.8**	0.84**	0.79**	0.53	0.52	0.84**	1		
As	<b>0.58</b>	-0.43	0.91**	0.67*	0.57	0.50	0.63	0.48	0.92**	0.44	0.54	0.76*	1	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.31	0.43	-0.12	-0.15	-0.34	-0.31	-0.11	-0.30	-0.11	-0.16	-0.39	-0.43	-0.20	1

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Indicates the degree of reliability of the calculation of the correlation coefficient between the data.

\* Minimum confidence 0.95% and \*\* Best assurance 0.99%.

Items with a high correlation are marked with two asterisks that have an R above 0.05.

## ۲-۴. روش‌های ارزیابی

### ۲-۴-۱. شاخص gqi

در این پژوهش به منظور بررسی مکانی و پهنه‌بندی کیفیت آب شرب در منطقه مورد مطالعه از GQI استفاده شده است. برای تعیین شاخص کیفیت آب شرب، پارامترهای شیمیایی و عناصر اصلی (Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>) و همچنین نیترات (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) و پنج عنصر کمیاب (Cr, Cd, Pb, Ni, As) و علاوه بر این دو نوع افت کش امیداکلوپراید<sup>۱</sup> (کنفیدور) و کلرپیریفوس<sup>۱</sup> (دورسبان) در نظر گرفته شده است. با استفاده از GQI مقادیر عددی این پارامترها را می‌توان با استانداردهای ایران، WHO و یا USEPA مقایسه نمود که در این پژوهش براساس معیارهای استاندارد آب شرب ایران این ارزیابی انجام گرفته است. به منظور محاسبه شاخص GQI مطابق روش کار ارائه شده برای این شاخص، مراحل تهیه نقشه نهایی در ادامه آورده شده است (Babiker et al., 2007):



۱. نقشه‌های رستری هر یک از پارامترهای اثرگذار در ارزیابی کیفیت آب تهیه شده است.  
 ۲. نقشه‌های هم مقیاس برطبق استاندارد ISIRI برای هر یک از پارامترها طبق معادله (۱) محاسبه شده است. در معادله (۱)، غلظت هر پیکسل ( $X'$ ) از نقشه‌های رستری مرحله قبل با مقدار استاندارد ISIRI برای هر پارامتر ( $X$ )، ارتباط برقرار گردید.

$$C = \frac{X' - X}{X' + X} \quad \text{رابطه (۱)}$$

نتیجه این یکسان‌سازی مقیاس‌ها تولید نقشه‌های جدید برای هر پارامتر است که ارزش پیکسل‌های آن‌ها بین (۱) و (۱) تغییر می‌کنند.

۳. تهیه نقشه‌های رتبه‌بندی

در این مرحله غلظت‌ها در نقشه‌های فوق بین (۱) و (۱۰) درجه‌بندی شده تا نقشه رتبه‌بندی هر یک از پارامترها به دست آید معادله (۲):

$$r = (0.5 \times C^2) + (4.5 \times C) + 5 \quad \text{رابطه (۲)}$$

۴. تهیه نقشه GQI

نقشه‌های رتبه‌بندی شده وضعیت آبخوان را نسبت به هر یک از این پارامترها نشان می‌دهند، لذا به منظور ایجاد یک نقشه که نمایانگر همه پارامترهای شیمیایی باشد و وضعیت کلی کیفیت آب را در مقایسه با استاندارد آب شرب ایران ارائه نماید از شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) استفاده شده و در نهایت لایه‌های مربوط به پارامترها توسط معادله (۳) با یکدیگر تلفیق شده‌اند (Babiker *et al.*, 2007).

$$GQI = 100 - \frac{r_1 w_1 + r_2 w_2 + \dots + r_n w_n}{n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در معادله (۳)،  $r$  رتبه هر پیکسل از نقشه‌های رتبه‌بندی شده و  $w$  وزن نسبی هر یک از پارامترها و برابر با مقدار میانگین کل پیکسل‌های نقشه رتبه‌بندی شده مربوطه است که مقادیر بالای شاخص کیفی نشان‌دهنده کیفیت خوب و مقادیر پایین، نشان‌دهنده کیفیت بد آب از نظر شرب خواهد بود.

## ۲-۴-۲. شاخص ریسک سلامتی<sup>۱۱</sup>

پژوهش‌هایی که در حیطه ارزیابی خطرات آلودگی عناصر کمیاب انجام شده‌اند حداقل از دو دیدگاه قابل بررسی‌اند. دیدگاه اول سلامت و بهداشت عمومی است که هدف از این مطالعات پیشگیری از ابتلا انسان به بیماری‌های گوناگون ناشی از مصرف مواد غذایی یا آب آلوده به عناصر کمیاب است. دیدگاه دوم حفظ حالت توازن اکوسیستم آبی و جلوگیری از زوال زیستی آن‌ها به واسطه تأثیرات سوء این آلاینده‌ها است (Scheuhammer, 1987). اختلالات عصبی، انواع سرطان، اختلالات تنفسی، قلبی و عروقی، آسیب به کبد، کلیه‌ها و مغز، به هم خوردن تعادل هورمون‌ها، سقط جنین، التهاب مفاصل، پوکی استخوان و در موارد حاد، مرگ از اثرات آن‌ها به بدن است (Miranzadeh *et al.*, 2011). در این پژوهش با در نظر گرفتن دیدگاه اول به بررسی آنومالی عناصر کمیاب و نیترات در منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی و ارزیابی خطر سلامت این عناصر بر بزرگسالان و کودکان پرداخته شده است، بدین صورت که ریسک سلامتی ناشی از مواجهه با عناصر کمیاب موجود در آب زیرزمینی از طریق مصرف آب، تماس پوستی با آن و ریسک سلامتی کل، به ترتیب با استفاده از معادله‌های (۴)، (۵) و (۶) تعیین شده است (USEPA, 2018).

$$HQ \text{ oral} = \frac{Cd_{\text{dioral}}}{RFD_{\text{doral}}} \quad \text{رابطه (۴)}$$



$$HQ_{\text{dermal}} = \frac{Cd_{\text{dermal}}}{RFD_{\text{dermal}}} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$HI = HQ_{\text{oral}} + HQ_{\text{dermal}} \quad \text{رابطه ۶}$$

در معادله‌های (۴)، (۵) و (۶) به ترتیب  $^{14}\text{C}$  نسبت ریسک منتج از عنصر موردنظر توسط مسیر بلع،  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  نسبت ریسک منتج از عنصر مربوطه توسط مسیر پوست و HI نیز شاخص خطر کل است که برای محاسبه آن، HQ مربوط به تمامی عناصر با یکدیگر جمع شده است.  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  با واحد  $\text{Kg.day/mg}$  به ترتیب نشان‌دهنده میانگین دوز روزانه هر عنصر است که از مسیر مصرف آب و تماس پوستی با آن وارد بدن می‌شود.  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  با واحد  $\text{Kg.day/mg}$  است، این پارامتر نشان‌دهنده حداکثر مقداری از عنصر است که می‌تواند روزانه از مسیر بلع و تماس پوستی با عنصر موردنظر به‌زای وزن انسان وارد بدن شده که موجب اثرات غیرسرطان‌زایی نشود. در جدول (۴)، مقادیر RFD براساس USEPA برای عناصر مختلف آورده شده است. مقادیر دوز مرجع بلع برای هر عنصر توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA, 2018) تعیین شده و محاسبه  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  از معادله (۷) قابل محاسبه است (USEPA, 2018):

$$RFD_{\text{dermal}} = RFD_{\text{oral}} \times ABS_{\text{GI}} \quad \text{رابطه ۷}$$

طبق معادله (۷)،  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  ضریب جذب دستگاه گوارش است که مقدار این ضریب به‌همراه دوز مرجع بلع برای هر عنصر توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده تعیین شده و مقادیر مربوط به آن در جدول (۳) ارائه شده است.  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  به ترتیب با استفاده از معادله‌های (۸) و (۹) قابل محاسبه است (USEPA, 2018):

$$CDI_{\text{oral}} = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$CDI_{\text{dermal}} = \frac{C \times SA \times Kp \times ET \times EF \times ED \times \frac{1L}{1000\text{cm}^3}}{BW \times AT} \quad \text{رابطه ۹}$$

در این معادلات، C غلظت پارامتر اندازه‌گیری شده (میلی‌گرم بر لیتر)،  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  ضریب نفوذپذیری پوست برحسب سانتی‌متر بر ساعت است که برای عنصر کادمیوم  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  سرب  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  کروم  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  آرسنیک  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  نیکل  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  است. در جدول (۳)، پارامترهای لازم برای محاسبه CDI (کودکان و بزرگسالان) از مسیر بلع و پوست ارائه شده است.

**Table 3.** Parameters for calculating the average daily dose of each element through water consumption and skin contact

Parameters	Unit	Oral		Dermal	
		Adult	Child	Adult	Child
IR (Ingestion rate)	L/day	2.2	1	-	-
EF (Exposure frequency)	days/year	365	365	350	350
ED (Exposure duration)	Year	70	10	30	6
ET (Exposure time)	h/event	-	-	0.58	1
BW (Body weight)	Kg	70	25	70	25
AT (Average time)	Days	25550	3650	10950	2190
SA (Skin-surface area)	cm <sup>2</sup>	-	-	18000	6600
CF (Conversion factor)	L/cm <sup>3</sup>	-	-	1.1	-

$^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  AT: میانگین تعداد روزهای عمر که برای ارزیابی ریسک غیرسرطانی و سرطان‌زایی به ترتیب با استفاده از معادله (۱۰) و (۱۱) قابل محاسبه است (USEPA, 2018):

$$AT_{\text{nc}} = ED \times 365 \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$AT_{\text{c}} = 70 \times 365 \quad \text{رابطه ۱۱}$$

برای محاسبه ریسک مزاد سرطان‌زایی عناصر کمیاب از مسیر بلع و پوستی و ریسک سرطانی کل به ترتیب از معادلات (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) استفاده شده است. مقدار  $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$   $^{14}\text{C}$  نشان‌دهنده احتمال رشد سرطان در طول زندگی جمعیت در مواجهه با ماده سرطان‌زاست (USEPA, 2018).

$$\text{ELCR}_{\text{oral}} = \text{CDI}_{\text{oral}} \times \text{CSF}_{\text{oral}} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$\text{ELCR}_{\text{dermal}} = \text{CDI}_{\text{dermal}} \times \text{CSF}_{\text{dermal}} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$\text{ELCR}_{\text{total}} = \text{ELCR}_{\text{oral}} + \text{ELCR}_{\text{dermal}} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

برای محاسبه CSF از طریق مواجهه پوستی از معادله (۱۵) استفاده شده است. در این رابطه CSF، فاکتور شیب سرطان‌زایی است که مقدار آن از مسیر بلع و پوستی برای عناصر کمیاب کروم، کادمیوم، نیکل، سرب و آرسنیک در جدول (۴) آورده شده است (USEPA, 2018). این پارامتر نشان‌دهنده حداکثر مقداری از عنصر است که می‌تواند روزانه از مسیر بلع و تماس پوستی با عنصر موردنظر به‌ازای وزن انسان وارد بدن شده و موجب اثرات غیرسرطان‌زایی نشود.

$$\text{CSF}_{\text{dermal}} = \frac{\text{CSF}_{\text{oral}}}{\text{ABS GI}} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

**Table 4.** Oral and Dermal reference dose of trace elements and Nitrate in the body (USEPA, 2018)

Element	RfD oral (Kg-day/mg)	RfD dermal (Kg-day/mg)	CSF oral (Kg-day/mg)	CSF dermal (Kg-day/mg)
NO <sub>3</sub>	1.6	0.025	-	-
Cr	3	0.075	4.1	4.1
Ni	20	0.8	0.84	0.84
Pb	1.4	0.42	0.042	0.042
As	0.3	0.12	1.5	3.6
Cd	0.5	0.025	0.63	0.63

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. نتایج حاصل از روش GQI

با توجه به شکل (۳)، در این پژوهش مقادیر شاخص کیفی براساس استاندارد آب شرب ایران طبق محاسبات انجام‌گرفته از ۵۸/۴ تا ۶۸/۶ متغیر بوده و نمایان‌گر این است که میزان کیفیت آب محدوده موردپژوهش براساس استاندارد آب آشامیدنی در حد متوسط بوده و کیفیت آب آبخوان از نظر شرب در قسمت شرقی (منطقه تغذیه) قابل‌قبول‌تر از قسمت‌های غربی (منطقه تخلیه) آبخوان است. بر این اساس، آب زیرزمینی در شهرستان گوغان و روستاهای اطراف آن در مقایسه با سایر قسمت‌های آبخوان کیفیت پایین‌تری دارد لازم به ذکر است که این قسمت از آبخوان خروجی دشت بوده و در مجاورت دریاچه ارومیه واقع است.

#### ۳-۲. نتایج حاصل از ریسک سلامت

با توجه به نتایج آنالیزها و بالابودن مقادیر غلظت نیترات و عناصر کمیاب اندازه‌گیری‌شده در آبخوان دشت آذرشهر نسبت به استانداردهای رایج و کاربردی (سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده، سازمان بهداشت جهانی و استاندارد تحقیقات صنعتی آب آشامیدنی ایران)، احتمال ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی برای ساکنین بهره‌مند از آب آشامیدنی محدوده مورد مطالعه وجود دارد.

#### ۳-۳. ریسک بیماری‌های غیر سرطان‌زایی

ریسک غیر سرطان‌زایی در صورتی که نسبت خطر HI total بیش‌تر از یک باشد احتمال بروز اثرات غیر سرطانی در جمعیت در معرض مواجهه وجود دارد، در حالی که اگر HI total کم‌تر یا مساوی یک باشد، خطری جمعیت را تهدید نمی‌کند (Kamarani et al., 2019).

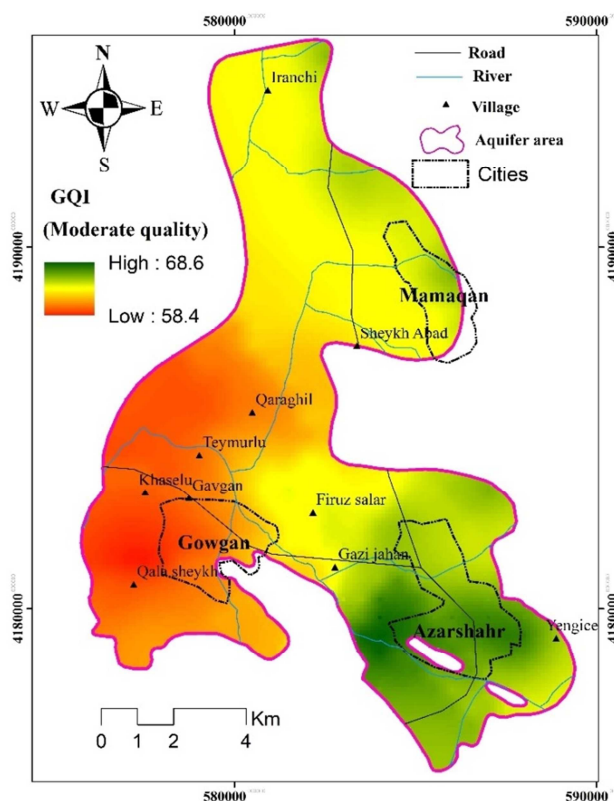


Figure 3. GQI groundwater quality index map of Azarshahr Plain based on the drinking water standard of Iran.

در منطقه مطالعاتی جهت ارزیابی ریسک غیر سرطان زایی، نسبت خطر کل ( $HI_{total}$ ) برای دو گروه سنی کودک و بزرگسال محاسبه شده و نقشه به دست آمده در شکل (۴) نشان داده شده که با توجه به نقشه توزیع مکانی ریسک سلامتی غیر سرطان زایی مجموع نسبت خطر از مسیر بلع و پوست ( $HI_{total}$ ) برای گروه سنی کودک در بازه ۰/۳۲ تا ۱/۳۸ و برای گروه سنی بزرگسالان در بازه ۰/۲۳ تا ۰/۹۹ متغیر است و بیانگر احتمال وجود ریسک بالاتر برای کودکان نسبت به بزرگسالان است. همچنین احتمال خطر غیر سرطان زایی مرتبط با منابع آب شرب برای محدوده مورد مطالعه در بزرگسالان وجود نداشته اما برای کودکان این ریسک بیماری وجود دارد و با توجه به نقشه به دست آمده، برای ساکنین محدوده مورد پژوهش قسمت جنوب آبخوان در ناحیه شهرستان آذرشهر و گوگان و روستاهای اطراف آن نسبت به بقیه قسمت‌ها احتمال وجود ریسک بیماری‌های غیرسرطانی برای کودکان وجود خواهد داشت و همچنین مطابق با رهنمودهای USEPA دامنه خطر سرطان زایی از  $(10^{-6} - 10^{-4})$  است که مقادیر LECR کم‌تر از  $10^{-6}$  بیانگر نبودن خطر سرطان زایی بوده و قابل چشم‌پوشی است و خطر سرطان زایی برای مقادیر LECR بیش‌تر از  $10^{-4}$  غیرقابل قبول است (Dashtizadeh *et al.*, 2019). بر این اساس در منطقه مطالعاتی با توجه به نقشه توزیع مکانی، منابع آبی قسمت غرب آبخوان در ناحیه شهرستان گوگان و روستاهای اطراف از نظر سرطان زایی برای مصرف بزرگسالان و کودکان مضر است (شکل ۵). مجموع نسبت خطر از مسیر بلع و پوست ( $ELCR_{total}$ ) برای پارامترهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش، در شکل (۵) نشان داده شده که مقادیر آن برای گروه سنی کودک در بازه  $1/7 \times 10^{-3}$  تا  $3/12 \times 10^{-2}$  و برای گروه سنی بزرگسالان در بازه  $1/3 \times 10^{-3}$  تا  $2/47 \times 10^{-1}$  متغیر است و از نظر ریسک سرطان زایی جمعیت بهره‌مند از این منابع آبی در معرض تهدید بیماری‌های سرطان زایی قرار دارند که در قسمت غرب آبخوان به مراتب شدت این خطرات بیش‌تر است.

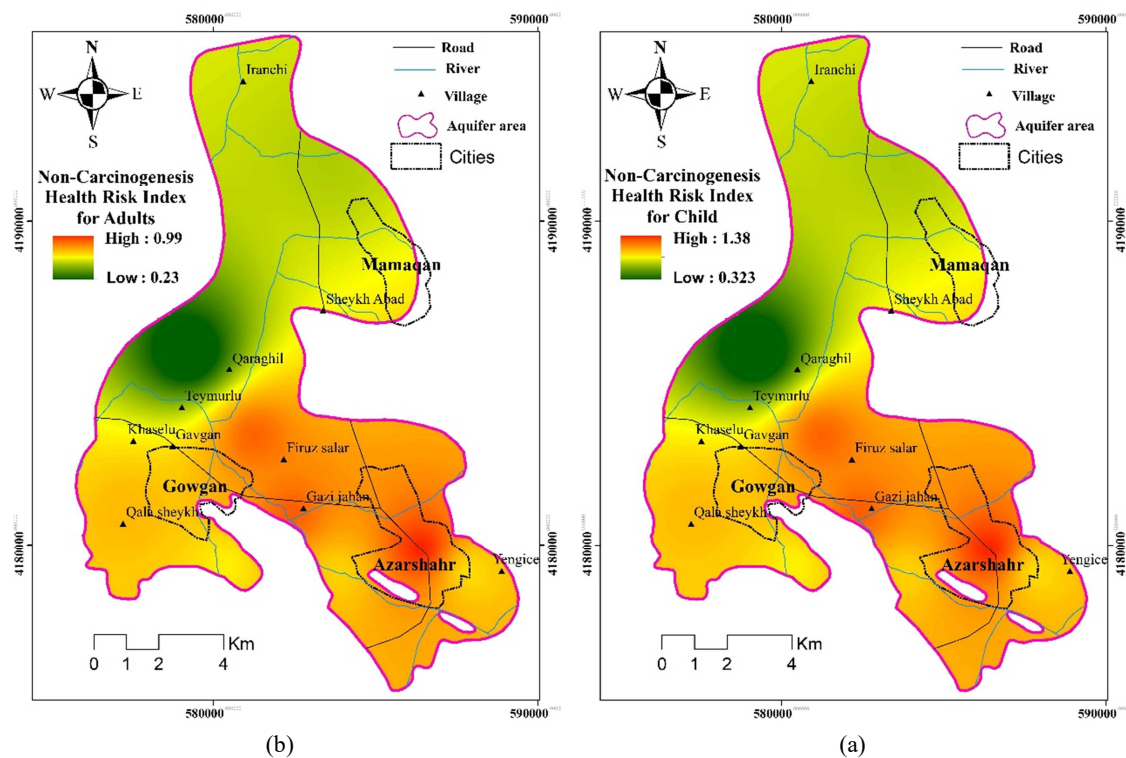


Figure 4. Distribution map of Non-carcinogenic health index for (a) Adults (b) Children.

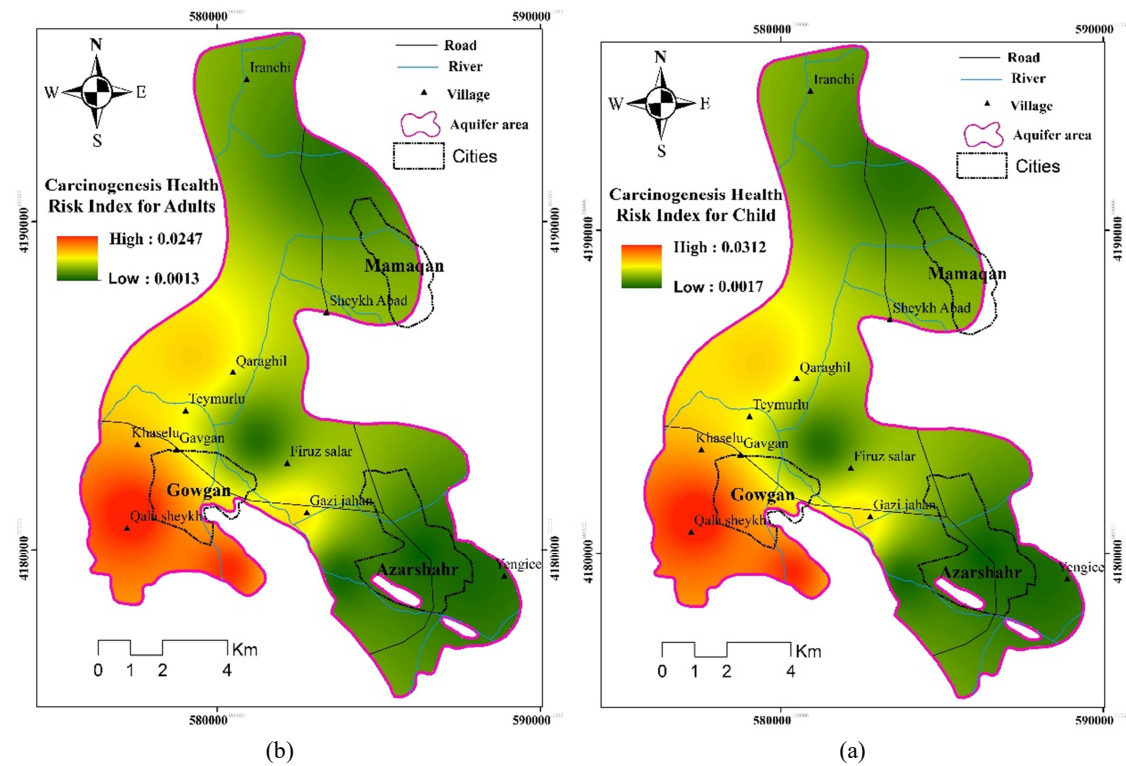


Figure 5. Carcinogenic health index distribution map for (a) Adults (b) Children

### ۳-۴. مقایسه شاخص کیفیت آب با شاخص ریسک سلامت سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی

براساس همبستگی نقشه شاخص کیفیت آب (GQI) با نقشه‌های ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی برای بزرگسالان و کودکان که در جدول (۵) نشان داده شده است شاخص سرطان‌زایی همبستگی بیش‌تری نسبت به غیرسرطان‌زایی با GQI نشان داده است و براساس همبستگی بین یون‌های اصلی، فرعی و کمیاب که در جدول (۲) نشان داده شده است، به غیر از نیترات بقیه عناصر با EC و عناصر اصلی همبستگی بالایی داشته که بیانگر زمین‌زاد بودن منشأ این آلودگی‌هاست که در اثر انحلال از سنگ‌های آذرآواری (سازند مراغه) و آهکی موجود در منطقه وارد آب زیرزمینی شده و از روند عمومی آب‌های زیرزمینی تبعیت داشته، اما برای نیترات برعکس این موضوع است یعنی EC با نیترات همبستگی نداشته و منشأ آن انسان‌زاد است که احتمالاً آزاد شدن نیترات به منابع آبی محدوده مورد مطالعه ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی است. بر این اساس در محدوده آبخوان آذرشهر احتمال بالا بودن ریسک بیماری‌های سرطان‌زا منتج از عوامل زمین‌زاد بوده و احتمالاً عوامل انسان‌زاد عاملی بر بروز بیماری‌های غیرسرطان‌زایی است. همبستگی بالای نقشه GQI با نقشه‌های شاخص ریسک سرطان‌زایی ( $R^2=0.7$ ) به این علت است که در آبخوان آذرشهر به غیر از نیترات، بقیه عناصر (اصلی و کمیاب) آنالیز شده که غلظت بیش از استاندارد داشته است، احتمالاً منشأ این عناصر زمین‌زاد است و روند افزایشی آن‌ها همراستا با جهت جریان است. عناصر کمیاب بیش‌ترین تأثیر را در تعیین کیفیت آب شرب و ریسک سرطان‌زایی داشته‌اند، اما برای بیماری‌های غیرسرطان‌زایی تنها عامل تأثیرگذار اصلی، نیترات بوده است. توزیع یون نیترات با توزیع بقیه عناصر دشت متفاوت است و در قسمت‌هایی از دشت که فعالیت‌های انسانی مانند استفاده از کودهای شیمیایی و فاضلاب‌های خانگی گسترش دارد، مقادیر بالاتری از نیترات ثبت شده است.

Table 5. Correlation of health risk index with GQI

Correlation coefficient ( $r^2$ )	GQI
ELCR (Adult)	0.72
ELCR (Child)	0.71
HI (Adult)	0.19
HI (Child)	0.18

### ۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از نتایج آنالیز برای عناصر کمیاب، نیترات و اصلی به همراه برخی پارامترهای شیمیایی، با استفاده از شاخص GQI و شاخص‌های ریسک سلامتی (سرطان‌زایی - غیرسرطان‌زایی) به ارزیابی کیفیت آب شرب محدوده آبخوان آذرشهر پرداخته شده است. براساس نتایج بررسی‌ها و مقایسه نقشه توزیع مکانی شاخص کیفیت آب منطقه با نقشه‌های شاخص ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی مشخص شد در قسمت‌هایی از منطقه مطالعاتی که آب شرب کیفیت پایین‌تری داشته، احتمال ریسک بیماری‌های سرطانی نیز بالاتر است و به‌طور کلی در آبخوان آذرشهر ریسک بیماری‌های غیرسرطانی بسیار کم بوده و تنها در قسمت محدودی از آبخوان در نواحی جنوب‌شرقی منطقه در اطراف شهرستان آذرشهر بالای حد آستانه USEPA بوده و ریسک سلامتی برای کودکان وجود دارد، اما احتمال ریسک سرطان‌زایی به‌علت آنومالی عناصر کمیاب بالا است و همچنین براساس همبستگی محاسبه‌شده عناصر دخیل در بروز بیماری‌های سرطانی منشأ زمین‌زاد داشته و فعالیت‌های انسانی نقش چندانی ندارد. فعالیت‌هایی مانند کشاورزی، فاضلاب‌های خانگی و صنعتی در قسمت محدودی از آبخوان با افزایش غلظت نیترات در آب احتمالاً موجب بالارفتن ریسک منجر به بیماری‌های غیرسرطانی برای کودکان خواهد شد. شاخص کیفیت آب شرب نیز با شاخص ریسک سرطان‌زایی همبستگی بالایی داشته که نشان می‌دهد عناصر کمیاب تأثیر بیش‌تری نسبت به دیگر پارامترها بر کیفیت

آب زیرزمینی محدوده مورد پژوهش داشته است و روند کلی توزیع عناصر آب زیرزمینی آبخوان آذرشهر با توزیع عناصر کمیاب سرطان‌زا منشأ یکسانی دارد.

### ۵. پیشنهادات

براساس نتایج مطالعه حاضر پیشنهاد می‌شود مسئولین محترم شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی ترتیبی اتخاذ فرمایند که ضمن پایش مستمر عناصر کمیاب در منطقه مطالعاتی از تعداد منابع بیش‌تری آنالیز عناصر کمیاب صورت گرفته و آب مصرفی از منابعی انتخاب شود که حداقل غلظت این عناصر را داشته باشد و هم‌چنین بررسی و پیش‌بینی‌های لازم از جمله تصفیه آلودگی ناشی از عناصر کمیاب برای ساکنین بهره‌مند از این منابع آبی انجام گیرد. با توجه به شرایط بحرانی منابع آب استان و سلامتی ساکنین به‌ویژه در آبخوان‌های حاشیه دریاچه ارومیه امید است مطالعات کاربردی گسترده‌تری در آینده انجام پذیرد.

### ۶. پی‌نوشت‌ها

1. Water Quality Index
2. National Sanitation Foundation Water Quality
3. Groundwater Quality Index
4. non-carcinogenic
5. Carcinogenic
6. The Institute of Standards & Industrial Research of Iran
7. World Health Organization
8. U.S. Environmental Protection Agency
9. Imidacloprid
10. Chlorpyrifos
11. Health Risk Index
12. Oral Hazard Quotient
13. Dermal Hazard Quotient
14. Chronic Daily Intake (CDI)
15. Reference Dose (RFD)
16. Fraction of contaminant adsorbed in gastrointestinal tract (ABSGI)
17. Permeability coefficient (Kp)
18. Average Time (AT)
19. Excess Lifetime Cancer Risk (ELCR)

### ۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

### ۸. منابع

Adimalla, N. (2019). Groundwater Quality for Drinking and Irrigation Purposes and Potential Health Risks Assessment: A Case Study from Semi-Arid Region of South India. *Water Quality Exposure and Health*, 2019(11), 109-12.

- Alipour A., Rahimi J., & Azarnivand, A. (2017). Groundwater Quality Analysis for Drinking and Agricultural Purposesa Prerequisite for Land Use Planning in the Arid and Semi-arid Regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 70(2), 423-434. (In Persian).
- ASTM (2002) Annual book of ASTM standards. Section 11, Water and environmental technology, American Society for Testing and Materials.
- Babiker I., Mohamed M., & Hiyama, T. (2007). Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resources Management*, 21, 699-715.
- Bagheri, M. (2000). Effects of effluent irrigation systems in some physical, chemical properties and soil pollution for several crop under cultivation (Dissertation for MSe degree of Water Resources) Faculty of Agriculture, Isfahan Industrial University, September; P. 156. (In Persian).
- Dashti Barmaki, M., Rezaei, M., & Saberi Nasr, A. (2014). Evaluation of Groundwater Quality Index (GQI) in Lenjanat aquifer using GIS. *Journal of Engineering Geology*, Summer, 8(2), 21- 38. (In Persian).
- Dashtizadeh, M., Kamani, H., Ashrafi, S.D., Panahi, A.H., Mahvi, A.H., Balarak, D., et al. (2019). Human health risk assessment of trace elements in drinking tap water in Zahedan city, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17(2), 1163-9.
- El Baba, M., Kayastha, P., Huysmans, M., & De Smedt, F. (2020). Evaluation of the Groundwater Quality Using the Water Quality Index and Geostatistical Analysis in the Dier al-Balah Governorate, Gaza Strip, Palestine. *Water*, 12(1), 262.
- EPA, U. (2018). edition of the drinking water standards and health advisories Tables. EPA 822-F-18-001.
- Ghaderpoori, M. (2018). Heavy metals analysis and quality assessment in drinking water–Khorramabad city, Iran. *Data in brief*, 16, 685.
- Giordani, G., Zaldívar, J.M., & Viaroli, P. (2009). Simple tools for assessing water quality and trophic status in transitional water ecosystems. *Ecol Indic*, 9(9), 82-91.
- Kamarani, B., Jafari, A., Zarei, A., Fakhri, Y., Ghaderpoori, M., & Alinejad, A. (2019). Non-carcinogenic health risk assessment of nitrate in bottled drinking waters sold in Iranian markets: A Monte Carlo simulation. *Accreditation and Quality Assurance*, 24(6), 417-26.
- Kamari, Z., Alipour, V., Dindarloo, K., Fazlzadeh, M., Ghanbarnejad, A., (2022). Ghaffari, H. R. Assessing the Risk of Carcinogenesis Caused by Exposure to Heavy Metals Through the Consumption of Drinking Water (A Case Study of Bandar Abbas Drinking Water). *J Prevent Med.*, 9 (1), 74-83. (In Persian).
- Khosravi, H., Heydari, E., Zehtabian, G., & Bazrafshan, J. (2016). Analysis of spatial and temporal trends of groundwater index (GRI) (Case study: Yazd-Ardakan plain), 22(4), 711-720. (In Persian).
- Kumar, M., Ramanathan, A., Tripathi, R., Farswan, S., Kumar, D., & Bhattacharya, P. (2017). A study of trace element contamination using multivariate statistical techniques and health risk assessment in groundwater of Chhaprola Industrial Area, Gautam Buddha Nagar, Uttar Pradesh, India. *Chemosphere*, 135-145.
- Lobato, T.C., Hauser-Davis, R.A., Oliveira, T.F., Silveira, A.M., Silva, H.A.N, & Tavares, M.R.M. (2015). Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: a case study in the amazon region. *Journal of Hydrology*, 522(6), 74-83.
- Miranzadeh, M.B., Mahmoodzadeh, A.A., Hasanzadeh, M., & Bigdeli, M. (2011)., Concentrations of Heavy Metals in Kashan Water Distribution Network in 2010. *Journal of Health Ardabail*, 2(3), 58-68. (In Persian).
- Mohammadi, E., Ahmad pari, H., Zolfagharan, A., & Dehghan, A. (2021). Investigation of quantity and quality of groundwater resources in Momenabad watershed of Semnan. *Journal of New Approaches in Basic Sciences. Technical and Engineering Research*, 3(11), 47-66. (In Persian with English abstract).



- Muhammad, S., & Ahmad, K. (2020). Heavy metal contamination in water and fish of the Hunza River and its tributaries in Gilgit–Baltistan: evaluation of potential risks and provenance. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101159.
- Nadiri, A.A. (2022). Sadeghi Aghdam F, Razzagh S, Barzegar R, Jabraili-Andaryan N, Senapathi V, Using a soft computing OSPRC risk framework to analyze multiple contaminants from multiple sources; a case study from Khoy Plain, NW Iran, *Chemosphere*, 308(3), 136527, ISSN 0045-6535.
- Nadiri, A. A., Taheri Zangi, S., & Jabraili Andaryan, N. (2021). Spatial Mapping of Northeast Bijar Plain Aquifer Quality Index and Comparison of Water Quality Using Different Methods. *Iranian journal of Ecohydrology*, 8(1), 235-247. (In Persian).
- Rajaei, Q., Pourkhabbaz, A. R., & Hesari Motlagh, S. (2012). Assessment of heavy metals health risk of groundwater in Ali Abad Katoul Plian. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, 4(2), 155-162.
- Rezaei, H., Zarei, A., Kamarehie, B., Jafari, A., Fakhri, Y., Bidarpoor, F., ... & Shalyari, N. (2019). Levels, distributions and health risk assessment of lead, cadmium and arsenic found in drinking groundwater of Dehgolan's villages, Iran. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 11(1), 54-62.
- Rezaei, H., Zarei, A., Kamarehie, B., Jafari, A., Fakhri, Y., Bidarpoor, F., ... & Shalyari, N. (2019). Levels, distributions and health risk assessment of lead, cadmium and arsenic found in drinking groundwater of Dehgolan's villages, Iran. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 11(1), 54-62.
- Sabzevari, Y., Nasrolahi, A., & Yonesi, H. (2020). Investigation of temporal-spatial variations of groundwater resources quality in Borujerd-Dorood Plain. *Irrigation and Water Engineering*, 11(1), 150-167. (In Persian).
- Samavati, A. (1999). Nitrogen compounds in water. *Journal of Water and Environment*, 9(2), 8-13. (In Persian).
- Scheuhammer, A. (1987). The chronic toxicity of aluminum, cadmium, mercury, and lead in birds: a review. *Environmental Pollution*, 46, 263-95.
- Şener, E., Şener, Ş., & Varol, S. (2022). Appraisal of groundwater quality with WQI and human health risk assesment in Karamik wetland and surroundings (Afyonkarahisar/Turkey).
- Shahriari, J., & Rezaei, M. (2019) Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in the drinking water distribution network of the city Zabol. *Neishabur Journal of Medical Sciences*, 8(9), 53-75.
- Sun, X., Zhang, H., Zhong, M., Wang, Z., Liang, X., Huang, T., & Huang, H. (2019). Analyses on the Temporal and Spatial Characteristics of Water Quality in a Seagoing River Using Multivariate Statistical Techniques: A Case Study in the Duliujian River, China. *International Journal of Environment and Research Public Health*, 16, 1020.
- Zhang, Q., Wang, L., Wang, H., Zhu, X., & Wang, L. (2020). Spatio-Temporal Variation of Groundwater Quality and Source Apportionment Using Multivariate Statistical Techniques for the Hutuo River Alluvial-Pluvial Fan, China. *International Journal of Environ and Reserch Public Health*, 17, 1055.
- Zhao, L., Gong, D., Zhao, W., Lin, L., Yang, W., Guo, W., Tang, X., & Li, Q. (2020). Spatial-temporal distribution characteristics and health risk assessment of heavy metals in surface water of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of The Total Environment*, 704, 134883.