University of Tehran Press

Journal of Water and Irrigation Management **Online ISSN: 2382-9931**

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

Field Evaluation of Nitrate Distribution in Groundwater at Lahijan Landfill: Challenges and Solutions

Amir Hajizadeh[1] | Seyed Abbas Hosseini[2]✉ | Saman Javadi[3] | Vahab Amiri[4]

1. Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: amirhajizadehmalaki@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir
3. Department of Water Engineering, Aburihan College, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: javadis@ut.ac.ir
4. Department of Geology, Faculty of Geology, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: v.amiri@yazd.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 20 August 2022
Received in revised form
13 October 2022
Accepted 6 June 2023
Published online 12 October 2023

Keywords:
Lahijan aquifer
Groundwater
Pollution
waste disposal
human health risk

ABSTRACT

The main purpose of this article is to investigate the issue of human health due to the continuous consumption of nitrate-contaminated underground water among people of different age groups in the vicinity of Lahijan depot. Therefore, in this study, 34 groundwater samples were collected during the wet (November) and dry (September) seasons, and the main ions were analyzed in the laboratory. Nitrate concentration in the wet season varied from 18 to 30 mg/L with an average of 24.2 mg/L and in the dry season from 8 to 24 mg/L with an average of 14.5 mg/L. The amount of NPI nitrogen pollution index showed that in the wet season, 23% of the samples are healthy and 77% of the sample locations have low pollution, and in the dry season, 82% of the samples are healthy and 18% of the samples have low pollution. The noncarcinogenic risk assessment model showed that health issues are among different age groups, including infants, children, youth, adults, and the elderly. The results of the carcinogenic risk showed that in the wet season, 65% of the underground water samples and in the dry season, 18% of the samples are unsuitable for drinking by the age group of 6 to 12 months. Identified sources of nitrates include nitrate sources found in the study area, anthropogenic activities such as Lahijan landfill and village residents' waste. Therefore, periodic water inspection, health check-up and common treatment plant in rural areas are corrective measures that should be taken to reduce the severe effects of nitrate-contaminated drinking water in the study area.

Cite this article: Hajizadeh, A., Hosseini, S. A., Javadi, S., & Amiri, V. (2023). Field Evaluation of Nitrate Distribution in Groundwater at Lahijan Landfill: Challenges and Solutions. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (3), 593-609. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2022.347460.1013

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2022.347460.1013

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

ارزیابی نحوه پخش نیترات در منابع آب زیرزمینی مجاور محدوده دفن زباله شهر لاهیجان: چالش‌ها و راهکارها

امیر حاجی‌زاده[۱] | سید عباس حسینی[۲]✉ | سامان جوادی[۳] | وهاب امیری[۴]

۱. دانشکده عمران هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.رایانامه: amirhajizadehmalaki@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: Abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir

۳. گروه مهندسی آب، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: javadis@ut.ac.ir

۴. گروه زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: v.amiri@yazd.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰

کلیدواژه‌ها:

آبخوان لاهیجان

آب زیرزمینی

آلودگی

دفن زباله

ریسک سلامتی انسان

چکیده

هدف اصلی این مطالعه، بررسی موضوع سلامت انسان به‌دلیل مصرف مداوم آب‌های زیرزمینی آلوده به نیترات در بین گروه‌های سنی مختلف مردم در مجاورت محل دفن زباله شهر لاهیجان است. از اینرو در این مطالعه، ۳۴ نمونه آب زیرزمینی در طول فصل تر (آبان‌ماه) و خشک (شهریورماه) جمع‌آوری شد و در آزمایشگاه آنالیز شدند. غلظت نیترات در فصل تر ۱۸ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۲۴/۲ میلی‌گرم در لیتر و در فصل خشک هشت تا ۲۴ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۱۴/۵ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود. مقدار شاخص آلودگی نیتروژن NPI نشان داد در فصل تر ۲۳ درصد نمونه‌ها سالم و ۷۷ درصد مکان نمونه، آلودگی کم و در فصل خشک ۸۲ درصد نمونه‌ها سالم و ۱۸ درصد از نمونه‌ها دارای آلودگی کم است. مدل ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی نشان داد که مسائل بهداشتی در میان گروه‌های سنی مختلف از جمله نوزادان، کودکان، جوانان، بزرگسالان و سالمندان قرار دارند. نتایج ریسک سرطان‌زایی نشان داد که در فصل تر ۶۵ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی و در فصل خشک ۱۸ درصد نمونه‌ها برای آشامیدن گروه سنی شش تا ۱۲ ماه نامناسب است. منابع شناسایی‌شده نیترات عبارتند از منابع نیترات یافت‌شده در منطقه موردمطالعه، فعالیت‌های انسان‌زایی مانند محل دفن زباله لاهیجان و زباله‌های ساکنین روستا می‌باشد. بنابراین، بازرسی دوره‌ای آب، چک‌آپ بهداشتی و تصفیه‌خانه مشترک در مناطق روستایی، اقدامات اصلاحی است که باید برای کاهش اثرات شدید آب آشامیدنی آلوده به نیترات در منطقه موردمطالعه انجام شود.

استناد: حاجی‌زاده، امیر؛ حسینی، سید عباس؛ جوادی، سامان؛ و امیری، وهاب (۱۴۰۲). ارزیابی نحوه پخش نیترات در منابع آب زیرزمینی مجاور محدوده دفن زباله شهر لاهیجان: چالش‌ها و راهکارها . *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۳ (۳)، ۵۹۳-۶۰۹.

DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2022.347460.1013

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱- مقدمه

تخلیه زباله‌های جامد غیرتفکیک‌شده به مکان‌های دفن زباله رایج‌ترین روش دفع زباله در کشورهای در حال توسعه است. در کشورهای در حال توسعه، پسماندهای جامد به‌طور انبوه در محل‌های دفن زباله باز ریخته می‌شوند، بدون این‌که توانایی لازم برای مدیریت آن‌ها وجود داشته باشد. از این‌رو، مدیریت پسماند در میان چالش‌های اصلی جهان رتبه‌بندی می‌شود (Chattopadhyay *et al*., 2009). از طرفی زباله‌های موجود در سایت‌های زمین‌ریزی (قانونی یا غیرقانونی) منبع اصلی گازهای آلاینده و شیرابه هستند. شیرابه حاوی انواع آلاینده‌ها با غلظت بالا است که با توجه به نوع زباله، آب و هوا، محل و شرایط سطح می‌تواند متفاوت باشد (Bhalla *et al*., 2013; Islama *et al*., 2016). شیرابه در بسیاری از لندفیل‌ها از روش دفن بهداشتی (سیستم تصفیه شیرابه و جمع‌آوری گاز) پیروی نکرده و در نتیجه مدیریت نامناسب دفن‌ها و تولید شیرابه سمی تأثیرات مهمی بر خاک و آب‌های زیرزمینی اطراف دارد (Mishra *et al*., 2019; Dąbrowska *et al*., 2018).

مطالعات متعددی در سراسر جهان در مورد تأثیر شیرابه دفن زباله بر منابع آب زیرزمینی و کیفیت تخریب آن با استفاده از تکنیک‌های مختلف انجام شده است. به‌طورکلی، مناطق نزدیک به محل‌های زباله به‌دلیل منبع آلودگی بالقوه شیرابه که حاوی فلزات سنگین از جمله آهن و املاح نیتروژن دار از جمله نیترات می‌باشد، احتمال بیش‌تری برای آلودگی آب‌های زیرزمینی دارند (Mendoza *et al*., 2017). در بسیاری از مطالعات نفوذ نیترات از طریق محل دفن زباله به آب زیرزمینی گزارش شده است (Ahada and Suthar, 2018). مصرف نیترات بالا می‌تواند مشکلات زیادی را برای سلامت انسان و اکوسیستم ایجاد کند. سازمان بهداشت جهانی (WHO)[1] اعلام کرده است که غلظت NO_3 برای آب آشامیدنی باید کم‌تر از ۴۵ میلی‌گرم در لیتر باشد (Mateo-Sagasta *et al*., 2018). جستجوهای مجدد آن‌ها نشان داد که مصرف نیتریت و نیترات می‌تواند منجر به نیتروزاسیون داخلی شود و احتمالاً سرطان‌زاست. در طبقه‌بندی منتشرشده توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC)[2]، نیترات در طبقه احتمالی سرطان‌زای انسان قرار می‌گیرد.هم‌چنین مطالعات پیشین به شبیه‌سازی تغییرات نیترات در آبخوان و آسیب‌پذیرهای ناشی ازآن پرداخته‌اند (Kardan Moghaddam *et al*., 2020; Ameur *et al*., 2021). از این‌رو، تأثیر بالقوه مضر نیترات و ارتباط میان قرارگرفتن در معرض و بروز مشکلات متعدد سلامتی، این موضوع را به یک مسئله فوری بهداشت عمومی تبدیل می‌کند (D'Agostino *et al*., 2020).

ارزیابی ریسک در بهداشت محیطی به‌عنوان اثرات نامطلوب بالقوه بر اکوسیستم و سلامت انسان در مواجهه با مواد سمی محیطی در نظر گرفته می‌شود. ارزیابی خطر سلامت انسان USEPA یک ابزار مفید برای ارزیابی ضریب خطر ناشی از قرارگرفتن در معرض آب‌های زیرزمینی NO_3 است. ارزیابی خطر سلامت انسان (USEPA)[3] زیستی شامل چهار مرحله اساسی می‌باشد؛ ۱- شناسایی خطر، ۲- ارزیابی و تعیین در معرض‌گذاری، ۳- ارزیابی رابطه دوز واکنش، ۴- توصیف ویژگی‌های خطر (Qasemi *et al*., 2018). در حال حاضر روش‌های بررسی فقط شامل آنالیزهای شیمیایی و فیزیکی نمی‌باشد بلکه حداکثر غلظت مجاز و طبقه‌بندی خطرات مواد شیمیایی، حداکثر دوز و سطح مجاز نیز بررسی خواهد شد. خطرات ماده‌ای که می‌تواند سلامت انسان را تهدید کند به دو دسته خطرات سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا تقسیم می‌شود. خطر سرطان‌زایی فقط برای مواد شیمیایی بدون محدودیت آستانه ارزیابی و محاسبه می‌شود. مسیرهای مختلفی مانند بلع مستقیم و پوستی برای مواجهه انسان با آلاینده‌های مختلف وجود دارد.

مطالعات متعددی در مورد آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط نیترات منتشر شده است (Egbueri *et al*., 2020; Panneerselvam *et al*., 2022) که روش‌های موجود، مقادیر آلاینده‌های اندازه‌گیری‌شده را با مقادیر استاندارد مقایسه می‌کند، اما این به اندازه کافی قابل اطمینان نیست و لزوماً غلظت کم‌تر از حد استاندارد نمی‌تواند تضمینی بر عدم وجود ریسک باشد. هم‌چنین مطالعات جامع (آلاینده‌های آلی/ غیر آلی و بلع/ قرارگرفتن در پوست) برای ارزیابی خطرات

سلامتی انسان بسیار کم‌تر رایج است. مطالعات ارزیابی زیست‌محیطی و ریسک در ایران (Soleimani *et al*., 2020; Sakizadeh *et al*., 2020) به‌طور عمده بر روی دشت‌ها انجام شده است، اما اطلاعات کمی در مورد ارزیابی خطر مرتبط با چاه‌های آب زیرزمینی در مجاورت محل دفن زباله وجود دارد. برای مثال، در پژوهش‌های پیشین در مجاورت محل دفن (Wang *et al*., 2021; Nai *et al*., 2021) به ارزیابی ریسک غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین و در ایران، تنها در مطالعه‌ای رشت به ارزیابی ریسک سرطان‌زایی در مسیر بلع و غیر سرطان‌زایی فلزات سنگین در محل دفن زباله سراوان رشت پرداختند (Kazemi *et al*., 2021). باوجود این‌که نشت نیترات از محل دفن زباله به آب‌های زیرزمینی در مطالعات پیشین گزارش شده است (Taufiq *et al*., 2019). تعداد کمی از پژوهش‌گران غلظت نیترات را در محل دفن زباله تخمین زدند، اما هیچ تلاشی برای ارزیابی خطرات مرتبط با آن‌ها نداشتند (Raffaello *et al*., 2018).

هدف اصلی این مطالعه، بررسی توزیع مکانی آلودگی نیترات و تأثیر غلظت نیترات بر آب زیرزمینی در مجاورت محل دفن زباله بود. سپس یک مدل ارزیابی خطر سلامت انسان (HHRA)[۴] برای تخمین خطر بالقوه ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی نیترات آب‌های زیرزمینی برای دو فصل خشک و تر استفاده شد. علاوه بر این، توزیع مکانی ویژگی‌های اصلی هیدروشیمیایی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج و یافته‌های مطالعه حاضر به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا به‌راحتی دسته‌های مختلف افرادی را که در منطقه موردمطالعه در معرض نیترات بالا قرار داشتند، شناسایی کنند. هدف پژوهش، افزایش آگاهی عمومی در زمینه دفع زباله و تأثیر آن بر سیستم اکولوژیکی است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

زباله‌های جامد شهر لاهیجان، سیاهکل و بخشی از لنگرود و برخی روستاهای اطراف به‌طور متوسط ۱۰۰ تن در روزهای عادی و ۱۵۰ تن در روزهای تعطیل از شهر لاهیجان در منطقه‌ای به نام تموشال واقع در جنوب شهر لاهیجان به‌طور غیربهداشتی دفع می‌شوند. مساحت محل دفن زباله ۱۲ هکتار است. طول و عرض جغرافیایی در مرکز سایت به‌ترتیب X=۴۰۵۱۴۴ و Y=۴۱۱۱۳۴۷ است (شکل ۱). بیش از هزار خانوار روستاهای اطراف نظیر تموشال زیارتگاه، دهسر، تخم شل، گلرودبار، چوشل، کرف کول، بیجارپشت، روبرابر، مختاریان در معرض آسیب ناشی از انباشت این زباله‌ها قرار دارند. هم‌چنین لازم به ذکر است محل دفن زباله شهر لاهیجان در مجاورت آبخوان لاهیجان چابکسر است با توجه به توپوگرافی منطقه و جریان آب‌های زیرزمینی امکان آلودگی آب‌های زیرزمینی نیز مشهود است و شیرابه ممکن است به آن‌ها نفوذ کرده و اثرات مضر ایجاد کند.

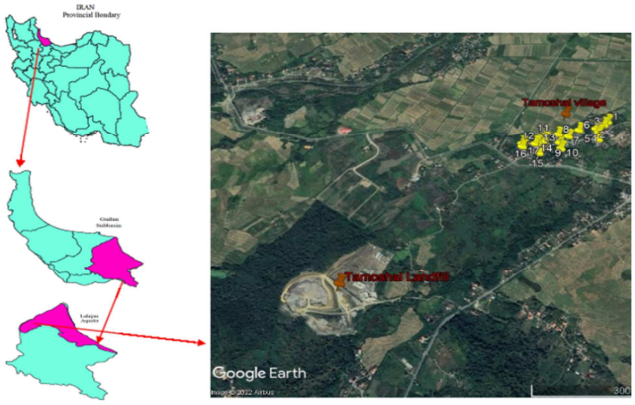

Figure 1. Location of the Case studywith samoling points

۲– ۲– ژئولوژی و هیدروژئولوژی

این محدوده از شمال به دریای خزر، از شرق به شهرستان رامسر و محدوده مطالعاتی رامسر– نور، از جنوب به محدوده مطالعاتی طالقان– الموت و از غرب به محدوده مطالعاتی آستانه– کوچصفهان محدود می‌باشد. این محدوده بین طول‌های شرقی ۴۹ درجه و ۴۶ دقیقه و بین عرض‌های شمالی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه قرار گرفته است. ارتفاع بلندترین محدوده مطالعاتی برابر ۳۹۴۵ متر و پست‌ترین نقطه برابر ۲۶– متر نسبت به دریای آزاد است. متوسط ارتفاع دشت برابر ۵/۹۳– متر و متوسط ارتفاع آزاد برابر ۱۰۷۷/۷ متر نسبت به دریای آزاد می‌باشد. امتداد کوه‌ها در این محدوده شرقی– غربی است که با امتداد البرز همخوانی دارد. دشت آب‌رفتی بین دامنه شمالی ارتفاعات و دریای خزر واقع شده است. سنگ‌هایی که در این محدوده بیرون‌زدگی دارند. از نوع سنگ آذرین درونی (گرانیت لاهیجان) سنگ های آذرین بیرونی (آندزیت، بازالت)، کنگلومرا و ماسه سنگ‌های کربناته می‌باشد. این محدوده در زون‌های البرز و گرگان– رشت قرار دارد. گسل بنیادی خزر به موازات ساحل در حد کوه و دشت عبور می‌کند و به گسل لاهیجان می‌رسد. این گسل در سمت غرب به گسل آستارا نیز می‌رسد. در شمال گسل خزر زون گرگان– رشت و در جنوب آن زون البرز قرار دارد. در اثر فعالیت گسل خزر و گسل‌های فرعی دیگر، در سنگ‌های موجود، شکستگی زیادی ایجاد شده و زمین‌لغزش‌های فراوانی در دامنه‌ها به‌وجود آمده است که در ذخیره آب و ایجاد چشمه مؤثر هستند.

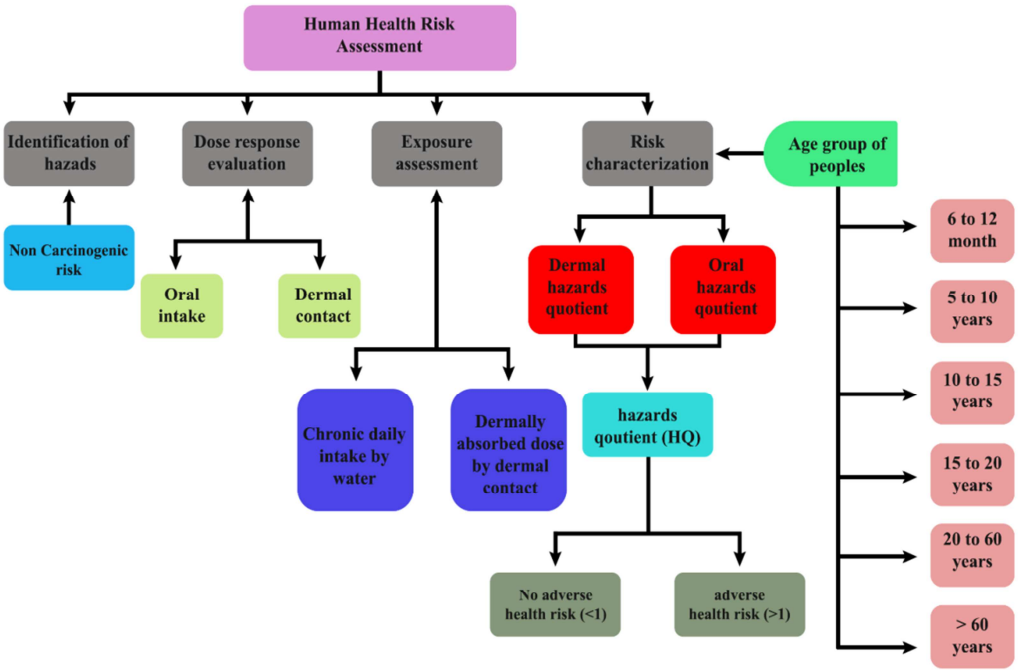

Figure 2. Flowchart of research methodolgy

۲– ۳– اندازه‌گیری نمونه‌های آب زیرزمینی

۲– ۳– ۱– نمونه‌برداری

نیترات یکی از آلاینده‌های مهم آب در جهان و به‌ویژه در مناطق روستایی است (Kovac *et al*., 2018). غلظت بالایی از نیترات در آب‌های زیرزمینی بسیاری از مناطق ایران تعیین شده است (Masoudinejazd *et al*., 2018). با این‌حال،

براساس مطالعات در بسیاری از کشورها، غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی به‌دلیل پایداری، حلالیت و تحرک بالا در حال افزایش است و می‌تواند باعث اختلال در عملکرد غده تیروئید، سرطان معده و متهموگلوبینمی یا سندرم بچه آبی در نوزادان زیرشش ماه شود (Badeenezhad *et al*., 2021; Kuar *et al*., 2020).

در تموشال لاهیجان، اکثر ساکنان روستایی از آب چاه‌های زیرزمینی به‌عنوان منابع آب آشامیدنی و شست‌وشو استفاده می‌کنند و بیش‌تر آب چاه‌های زیرزمینی هیچ‌گونه تصفیه‌ای ندارند. نتایج نظارت بر تأمین آب متمرکز در منطقه روستایی تموشال نشان می‌دهد که نیترات یک عامل مهم غیرقابل صلاحیت است (Javahershenas *et al*., 2020). در ایران، پژوهش‌های بیش‌تر مدل‌های (HHRA) بر فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و آفت‌کش‌ها متمرکز است (Amiri *et al*., 2020). از این‌رو، هدف اصلی این کار پژوهشی، بررسی غلظت نیترات در آب آشامیدنی در منطقه روستایی تموشال و شاخص آسیب احتمالی قرارگرفتن در معرض این غلظت نیترات برای ساکنان روستا می‌باشد.

براساس روش‌های نمونه‌برداری استاندارد ۱۷ نمونه از چاه‌هایی با عمق‌های مختلف بین پنج تا ۱۵ متر در طول فصل مرطوب ۱۴۰۰ (از ۱۷ حلقه چاه)، فصل خشک سال ۱۴۰۰ (از ۱۷ حلقه چاه) برداشت شد شکل (۱).

تجزیه و تحلیل نمونه‌ها: نمونه‌های آب زیرزمینی از چاه‌های عمیق با استفاده از روش‌های نمونه‌برداری استاندارد APHA (1985) و ISO (1993) جمع‌آوری شد. قبل از جمع‌آوری نمونه‌ها، آب‌های زیرزمینی برای چند دقیقه تخلیه شد تا به‌عنوان نماینده نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری شود و از پمپاژ آب راکد از سیستم جلوگیری شود. در هر محل نمونه‌برداری، نمونه‌ها در دو بطری PET نگهداری شدند و به دو گروه غیر اسیدی برای تجزیه آنیون و اسیدی‌شدن با چند قطره HNO_3 برای تجزیه کاتیون‌ها و عناصر کمیاب تقسیم شدند. در فرایند اسیدی‌کردن، چند قطره اسید نیتریک غلیظ خالص برای تنظیم pH<۲ به نمونه‌های فیلترشده اضافه شد و با pHمتر تأیید شد. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده در دمای شش درجه سانتی‌گراد در مجاورت یخ تا تحویل به آزمایشگاه برای آنالیز نگهداری شدند.

۲– ۳– ۲– شاخص آلودگی نیترات (NPI)[۵]

نیترات یکی از رایج‌ترین مورچه‌های آلاینده ساخته دست بشر در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است. ارزیابی تأثیر سلامت انسان و سطح قابل‌توجه آلودگی آب‌های زیرزمینی یک مسئله جدی است.

NPI ابزاری مؤثر برای ارزیابی سطح آلودگی در آب‌های زیرزمینی است (Panneerselvam *et al*., 2020). حداکثر حد مجاز مقدار آستانه نیترات در آب‌های زیرزمینی ۲۰ میلی‌گرم در لیتر است. غلظتی که از مقدار آستانه فراتر رود، آب‌های زیرزمینی آلوده به NO_3 در نظر گرفته می‌شود. رابطه (۱) برای محاسبه مقدار NPI در آب‌های زیرزمینی استفاده شد.

$$NPI = \frac{C_S - HAV}{HAV}$$ رابطه ۱)

که در آن، HAV مقدار آستانه نیترات به‌دلیل فعالیت‌های آنتروپوژنیک است و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و Cs غلظت نیترات نمونه آب زیرزمینی است.

۲– ۳– ۳– ارزیابی ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی نیترات

ارزیابی خطر سلامت انسان روشی مهم برای ارزیابی خطر ناشی از غلظت بیش از حد پارامترهای شیمیایی در آب‌های زیرزمینی است. مطابق شکل (۲) ارزیابی خطر سلامت انسان شامل چهار مرحله اصلی است؛ شناسایی خطر، ارزیابی قرارگرفتن در معرض، ارزیابی سمیت، و تعیین خصوصیات خطر (Gerba, 2019). در ادامه هر یک از بخش‌های متدولوژی این پژوهش به اختصار توضیح داده خواهد شد.

۲– ۳– ۳– ۱– شناسایی خطر

شناسایی خطر گام اولیه در ارزیابی مسائل مربوط به سلامت انسان به‌دلیل نشت آلاینده‌ها از محل دفن آلاینده‌ها است. نشت آلاینده‌ها شیرابه می‌تواند باعث آلودگی خاک زیرسطحی شود و اگر شیرابه به سطح آب زیرزمینی برسد، احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی وجود دارد. جمعیت ساکن در محل تخلیه در مجاورت عموماً در معرض نوشیدن آب‌های آلوده زیرزمینی و سطحی و به‌طور غیرمستقیم با خوردن مواد غذایی رشد یافته در خاک آلوده قرار دارند (Gerba, 2019).

۲– ۳– ۳– ۲– ارزیابی قرارگرفتن در معرض

مسیرهای مواجهه اولیه در نظر گرفته‌شده برای ارزیابی قرارگرفتن در این مطالعه، مصرف مستقیم آب زیرزمینی و تماس پوستی از طریق فعالیت حمام‌کردن بود. میزان مواجهه جمعیت با فلز خاص در اطراف محل تخلیه با توجه به شرایط خاص سایت تعیین خواهد شد. مقدار و نوع توزیع پارامترهای مختلف در نظر گرفته‌شده در رویکرد ارزیابی ریسک احتمالی در جدول‌ها ارائه شده است.

۲– ۳– ۳– ۳– مدت زمان قرارگیری در معرض بیماری

EF فرکانس در معرض قرارگرفتن (تعداد روز/ سال) و ED مدت زمان قرارگرفتن در معرض (تعداد سال) است. این عوامل به‌طور کلی به‌عنوان یک مقدار ثابت منفرد براساس کتابچه راهنمای عوامل مواجهه استفاده می‌شوند. با این‌حال، برای تعیین کمیت تغییرات در این پارامترها، طبق گزارش‌ها و مطالعات منتشرشده، ۱۰۰۰۰ مقدار تصادفی در محدوده ارایه شد (USEPA, 1997).

۲– ۳– ۳– ۴– وزن بدن (BW)

میانگین وزن بدن ۷۰ کیلوگرم در مطالعات متعدد در نظر گرفته شد. در این مطالعه، میانگین وزن براساس کتابچه برای رده‌های مختلف سنی در نظر گرفته شد (USEPA, 2014).

۲– ۳– ۳– ۵– میزان بلع، استنشاق، و قرارگرفتن در معرض پوست

این عوامل براساس کتابچه راهنمای عوامل مواجهه در نظر گرفته شدند (USEPA, 2014).

۲– ۳– ۳– ۶– ارزیابی دوز–پاسخ

ارزیابی خطر سلامت انسان به فلزات سرطان‌زا و فلزات غیر سرطان‌زا تقسیم می‌شود. قرارگرفتن در معرض ناشی از مصرف خوراکی مستقیم آب آلوده به صورت زیر تعیین شد (USEPA, 2014):

رابطه ۲) $$\mathrm{CDI} = \frac{\mathrm{CPW}*\mathrm{IR}*\mathrm{ED}*\mathrm{EF}}{\mathrm{ABE}*\mathrm{AET}}$$

رابطه ۳) $$\mathrm{DAD} = \frac{\mathrm{TC}*\mathrm{Ki}*\mathrm{EV}*\mathrm{ED}*\mathrm{EF}*\mathrm{SSA}*\mathrm{CF}}{\mathrm{ABE}*\mathrm{AET}}$$

رابطه ۴) $$HQ_{Oral} = \frac{\mathrm{CDI}}{\mathrm{RfD}}$$

قرارگرفتن در معرض تماس پوستی در طول حمام‌کردن یا فعالیت شنا به شرح زیر تعیین شد (USEPA, 2014):

رابطه ۵) $$HQ_{Dermal} = \frac{\mathrm{DAD}}{\mathrm{RfD}}$$

مقادیر معادلات و واحدهای آن در جدول آمده است. RfD دوز مرجع یک کشور آلوده به نیترات است که ۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز است. مقدار ضریب ریسک برای ارزیابی خطر سلامت نیترات برای دهان و پوست با استفاده از معادلات بالا محاسبه شد (جدول ۱).

$$HI_i = HQ_{Oral} + HQ_{Dermal}$$ رابطه ۶)

$$HI_{Total} = \sum_{i=1}^{n} HI_i$$ رابطه ۷)

مجموع ضریب خطرات برای دهان و پوست، شاخص کل ریسک HIi است. ارزش کل ریسک برای همه مکان‌های نمونه در منطقه موردمطالعه با استفاده از معادله محاسبه شد که مقدار بیش‌تر از یک خطر قابل‌توجهی است، درحالی‌که کم‌تر از یک خطر قابل‌توجهی برای خطر غیر سرطان‌زا برای سلامت انسان ندارد. معادله زیر برای محاسبه خطر سرطان CR نیترات براساس دریافت خوراکی بود.

$$CR = ADD \times CSF$$ رابطه ۸)

در معادله فوق، خطر سرطان از طریق مصرف خوراکی و مقدار فاکتور شیب سرطان‌زا (CSF) نیترات به‌ترتیب $۱۰^{-۵}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز است (Toolabi *et al*., 2021).

Table 1. The rate of Human Health Risk for various age category

Parameters	Unit	Values for diferent age groups					
		6 to 12 months	5 to 10 years	10 to 15 years	15 to 20 years	20 to 60 years	>60 years
Ingestion ratio (RI)	mL/day	0.8	1.35	1.9	2.2	2.94	2.6
Exposure duration (ED)	years	0.75	8	13	18	40	64
Frequency of exposure (EF)	days	365	365	365	365	365	365
Body weight (BW)	kg	11	25	35	55	76	65
Average age (AT)	days	274	2920	4745	6570	14600	23360
Average age (TC)	h/d	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Dermal absorption (Ki)	cm/h	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Frequency of bathing (EV)	times/day	1	1	1	1	1	1
Skin surface area (SSA)	cm^2	4500	10500	15700	19550	19800	19400
Conversion factor (CF)	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

۳- نتایج و بحث

۳-۱- NPI آب‌های زیرزمینی

NPI نمونه آب زیرزمینی محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است. طبقه‌بندی NPI آب‌های زیرزمینی نشان داد که در فصل تر ۲۳ درصد نمونه‌ها سالم و۷۷ درصد مکان نمونه، آلودگی کم، و در فصل خشک ۸۲ درصد نمونه‌ها سالم و ۱۸ درصد از نمونه‌ها دارای آلودگی کم است.

Table 2. The NPI category of groundwater samples in case study

Range	Groundwater class	Number of dry season samples	Percentage of dry season samples	Number of seasonal samples	Percentage of seasonal samples
1<	Clean	14	82	2	18
0-1	Light pollutio	3	23	15	77
1-2	Moderate pollution				-

نتیجه تحلیل فضایی NPI در شکل (۳) نشان می‌دهد که در فصل تر ۲۳×۱۰^{-۳} کیلومترمربع مساحت سالم است و ۲۳۶×۱۰^{-۳} کیلومترمربع از دارای منطقه آلودگی کم و در فصل خشک ۲۴۷×۱۰^{-۳} کیلومترمربع مساحت سالم و ۱۳×۱۰^{-۳} کیلومترمربع از منطقه دارای آلودگی کم است. غلظت نیتروژن مولکولی محلول در آب، در تعادل در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با اتمسفر، ۰/۰۰۰۵ میلی‌گرم در لیتر است. غلظت طبیعی نیترات آب زیرزمینی به‌طور کلی کم است.

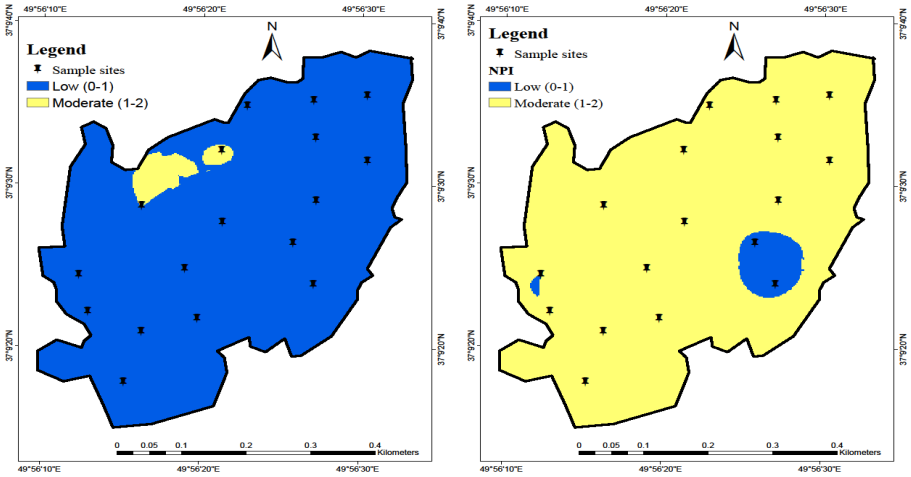

Figure 3. Distribution of NPI index in wet and dry seasons

۳– ۲– ارزیابی منابع نیترات در منطقه موردمطالعه

منبع آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه موردمطالعه به نیترات از طریق بازدید میدانی و براساس کیفیت آب زیرزمینی شناسایی شد. منبع به دو نوع منبع نقطه‌ای و پراکنده تقسیم می‌شود. منبع انتشار آلودگی نیترات در منطقه روستایی منطقه موردمطالعه شناسایی شد (شکل ۴). از منابع نیترات یافت‌شده در منطقه موردمطالعه، فعالیت‌های انسان‌زایی مانند محل دفن زباله لاهیجان و زباله‌های ساکنین روستا می‌باشد. هم‌چنین مردم برای عملکرد محصول به‌شدت به کودهای مصنوعی وابسته بودند و از روش‌های مدرن تکنیک‌های کشاورزی مانند استفاده از کودهای مبتنی بر نیتروژن مانند اوره که حاوی ۴۵ درصد نیتروژن است، پیروی می‌کردند.

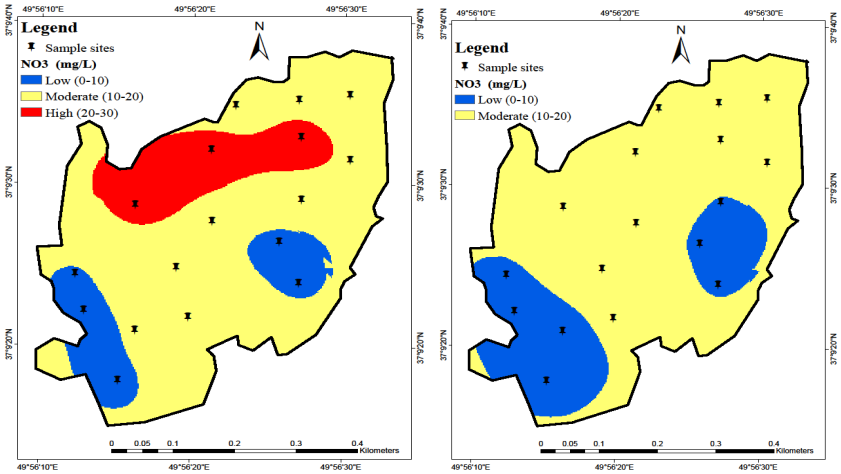

Figure 4. Distribution of Nitrate concentartion in wet and dry seasons

ازآنجایی‌که نیتراتها در آب به‌خوبی حل می‌شوند بنابراین، می‌توانند همراه با آب باران در خاک نفوذ کرده و آب‌های زیرزمینی را آلوده کنند. در مطالعه حاضر غلظت نیترات در فصل تر ۱۸ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۲۴/۲ میلی‌گرم در لیتر و در فصل خشک هشت تا ۲۴ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۱۴/۵ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. تمامی نمونه‌ها از حد مجاز ۴۵ میلی‌گرم در لیتر توصیه‌شده فراتر نمی‌روند و تمامی نمونه‌ها در فصل تر و ۷۰ درصد نمونه‌ها در

فصل خشک از حد مجاز ۱۰ میلی‌گرم در لیتر توصیه شده فراتر می‌رود (WHO, 2017). مشابه بررسی حاضر (Kazemi Vahabian *et al*., 2019; *et al*., 2021) غلظت نیترات در آب زیر زمینی اطراف لندفیل‌های مالزی و رشت را به‌ترتیب ۱۰/۴ و هفت میلی‌گرم در لیتر بیان نمودند که پایین‌تر از حد استاندارد بود. به‌دلیل حیاتی‌بودن مصرف آب برای انسان، نوشیدن آب یکی از مهم‌ترین راه‌های مواجهه روزانه با آلاینده‌های مختلف مانند نیترات است (Kelava *et al*., 2017). بدن انسان می‌تواند به‌راحتی مقدار کم نیترات را جذب کرده و دفع کند، اما افزایش بیش از حد میزان نیتروژن در خون منجر به کاهش ظرفیت اتصال اکسیژن هموگلوبین و درنهایت مت هموگلوبینمی می‌شود (Negi *et al*., 2020).

۳– ۳– ارزیابی خطر سلامت انسان

۳– ۳– ۱– ریسک غیرسرطان‌زایی

در مطالعه حاضر، جمعیت انسانی به‌دلیل تفاوت در فیزیولوژی و تحمل آلاینده‌ها به شش دسته شش–۱۲ ماهه، پنج–۱۰ سال، ۱۰–۱۵ سال، ۱۵–۲۰ سال، ۲۰–۶۰ سال و بیش‌تر از ۶۰ سال طبقه‌بندی شده است. اثرات چنین تفاوت‌هایی توسط پارامترهای دخیل در تخمین HQ اعمال می‌شود (Zhai *et al*., 2017). مجموع ریسک خوراکی و پوستی برای هر گروه از مردم منطقه موردمطالعه در دو فصل تر و خشک محاسبه شده است. مقادیر ریسک غیرسرطان‌زایی نیترات در فصل تر از ۰/۸۵ تا ۱/۳۶ با میانگین ۱/۱ و ۰/۶۴ تا ۱/۰۱ با میانگین ۰/۸۱ و ۰/۱۹ تا ۰/۳۱ با میانگین ۰/۲۳۵ و ۰/۵۸ تا ۰/۷ با میانگین ۰/۶ و ۰/۴۸ تا ۰/۷ با میانگین ۰/۵۷ و از ۰/۴۵ تا ۰/۷۲ با میانگین ۰/۵ به‌ترتیب برای شش گروه سنی و ریسک غیرسرطان‌زایی نیترات در فصل خشک از ۰/۶۶ تا ۱/۱۳ با میانگین ۰/۷ و ۰/۲۷ تا ۰/۲۷ با میانگین ۰/۵ و ۰/۱۲ تا ۰/۲۵ با میانگین ۰/۱۶ و ۰/۲۱ تا ۰/۶ با میانگین ۰/۳۹ و ۰/۱۹ تا ۰/۵۵ با میانگین ۰/۳ و از ۰/۲ تا ۰/۵۷ با میانگین ۰/۲۲ به‌ترتیب برای شش گروه سنی می‌باشد.

نتایج در شکل (۵) نشان می‌دهد که در فصل تر ۸۳ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی می‌توانند برای گروه سنی شش تا ۱۲ ماه (شیرخواران) و ۲۰ درصد نمونه‌ها برای گروه سنی پنج تا ۱۰ سال (کودکان) و در فصل خشک ۲۵ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی می‌توانند برای شش تا ۱۲ ماه (شیرخواران) می‌توانند باعث ایجاد اثرات روی سلامتی شوند. تجزیه و تحلیل فضایی نشان داد که در فصل تر ۲۰۳×۱۰^{-۳} کیلومترمربع از منطقه برای شش تا ۱۲ ماه در معرض خطر است. ۱۰×۱۰^{-۳} کیلومترمربع از منطقه ایمن و ۲۸×۱۰^{-۳} کیلومترمربع از منطقه خطر برای پنج تا ۱۰ سال است. و در فصل خشک ۴۰×۱۰^{-۳} کیلومترمربع از منطقه برای شش تا ۱۲ ماه در معرض خطر است.

۳– ۳– ۲– اثرات سلامتی در میان گروه‌های سنی مختلف مردم

مصرف مداوم غلظت بالای نیترات در آب‌های زیرزمینی می‌تواند اثرات جدی بر روی انسان در میان گروه‌های سنی مختلف مردم ایجاد کند. تأثیر آن در شش تا ۱۲ ماهگی، متهموگلوبینمی نوزاد است که یک بیماری تهدیدکننده زندگی در میان نوزادان است (Badeenezhad *et al*., 2021). در مطالعاتی در ایرانشهر، ملایر، آزادشهر، شیراز و کردستان دریافتند که بالاترین HQ نیترات مربوط به نوزادان و کودکان است (Qasemi *et al*., 2018; Shalyari *et al*., 2019; Sakizadeh *et al*., 2020; Soleimani *et al*., 2020). هم‌چنین جذب بیش‌تر برخی از مواد شیمیایی مانند نیترات از طریق گوارش در کودکان، آن‌ها را نسبت به بزرگسالان مستعد قرارگرفتن در معرض آلاینده‌های محیطی در واحد وزن بدن می‌کند (Chen *et al*., 2015). از این‌رو، به‌دلیل وزن کم نوزادان، در مقایسه با سایر گروه‌های سنی در معرض خطر بیش‌تری قرار دارند (Huang *et al*., 2016). در گروه پنج تا ۱۰ ساله افراد، دیابت نوع یک کودکی، فشار خون و عفونت

حاد تنفسی؛ در گروه ۱۰ تا ۲۰ ساله افراد، قبل از بلوغ، فشار خون، اسیدیته، به‌دنبال اتساع عروق، اثرات ضد ترومبوتیک و تنظیم ایمنی (Aschebrook *et al*., 2012) و در گروه ۲۰ تا ۶۰ ساله افراد، مسائل مربوط به بارداری مانند سقط خود به خود، مرگ‌ومیر جنین، تأخیر در رشد داخل رحمی، وزن کم هنگام تولد، ناهنجاری‌های مادرزادی و مرگ‌ومیر نوزادان و در گروه سنی بیش از ۶۰ سال افراد، آن‌ها می‌توانند تحت تأثیر هیپرتروفی قلبی عروقی، حمله قلبی، بیماری‌های قلبی، انفارکتوس میوکارد و پراکسیداسیون لیپیدی در شبکیه قرار گیرند (Migoet *et al*., 2013).

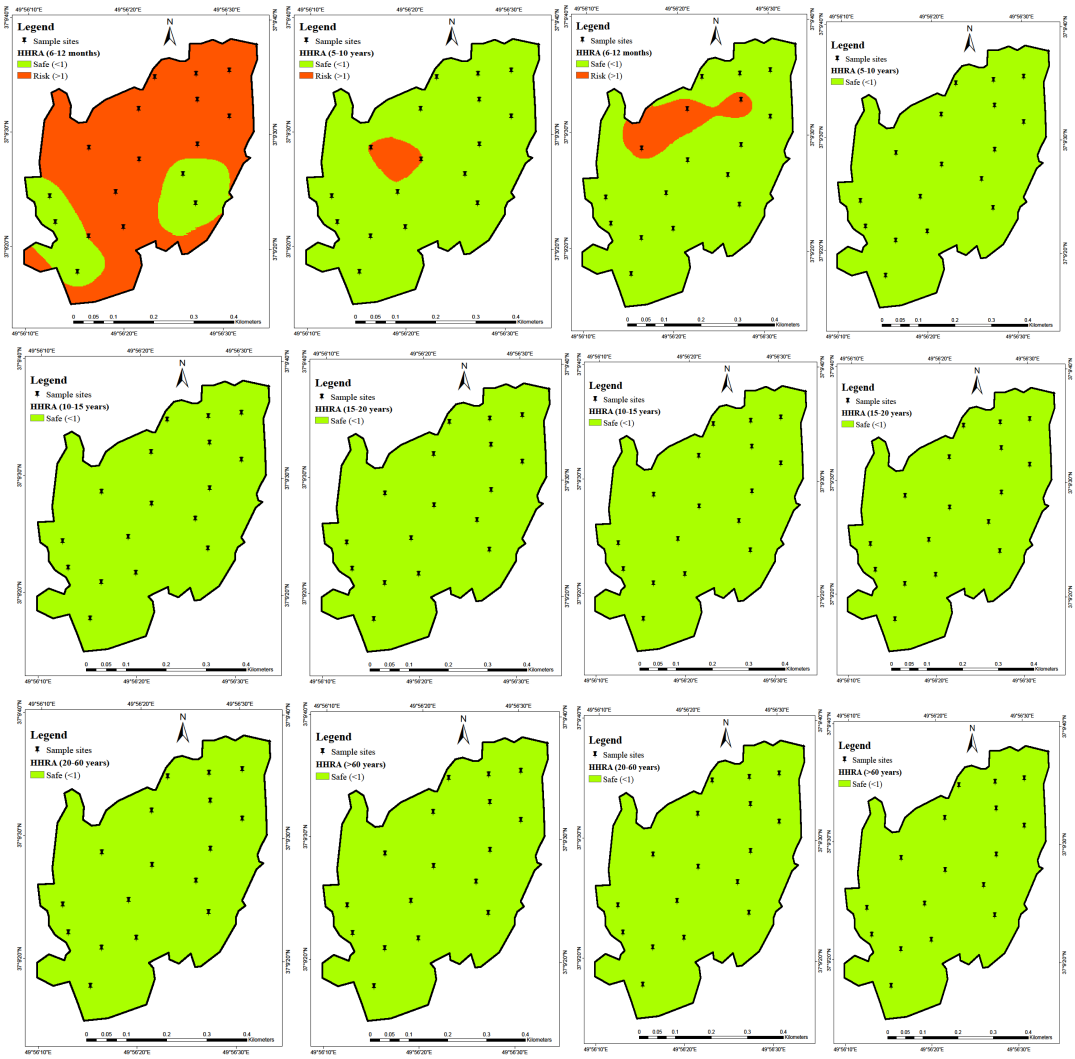

Figure 5. Non-carcinogenic risk assessment of different age for dry and wet seasons

نتایج ارائه‌شده در این مطالعه توصیه می‌کند که سطح مجاز نیترات باید کاهش یابد تا خطرات سرطان‌زایی بالقوه برای نوزادان و کودکان کاهش یابد. نتایج ارائه‌شده در این مطالعه نشان می‌دهد با وجود این‌که اکثر نقاط نمونه‌برداری از معیارهای شرایط ایمن با توجه به حداکثر سطوح مجاز نیترات در دوره خشک و تر کم‌تر هستند، موجب ریسک سرطان‌زایی در رده سنی شش ماه تا ۱۲ ماه می‌شوند.

۳ – ۲– ریسک سرطان‌زایی

در جدول (۳) مقدار ریسک سرطان‌زایی از طریق مسیر دهانی برای شش گروه سنی در فصول تر و خشک با استفاده از رویکرد توصیه‌شده توسط USEPA تعیین شد.

Table 3. Nitrate carcinogenic risk (CR) values for different age groups

Period		Nitrate carcinogenic risk (CR) values for different age groups					
		6 to 12 months	5 to 10 years	10 to 15 years	15 to 20 years	20 to 60 years	>60 years
Wet season	Max	1.36×10^{-5}	1.01×10^{-5}	0.23×10^{-5}	0.78×10^{-5}	0.72×10^{-5}	0.75×10^{-5}
	Min	0.81×10^{-5}	0.6×10^{-5}	0.14×10^{-5}	0.47×10^{-5}	0.43×10^{-5}	0.45×10^{-5}
	Mean	1.1×10^{-5}	0.81×10^{-5}	0.18×10^{-5}	0.63×10^{-5}	0.59×10^{-5}	0.6×10^{-5}
Dry season	Max	1.08×10^{-5}	0.81×10^{-5}	0.18×10^{-5}	0.63×10^{-5}	0.58×10^{-5}	0.6×10^{-5}
	Min	0.36×10^{-5}	0.27×10^{-5}	0.06×10^{-5}	0.21×10^{-5}	0.19×10^{-5}	0.2×10^{-5}
	Mean	0.67×10^{-5}	0.49×10^{-5}	0.11×10^{-5}	0.38×10^{-5}	0.35×10^{-5}	0.36×10^{-5}

هم‌چنین تخمین خطر سرطان‌زایی نیترات در نمونه‌های آب زیرزمینی از طریق مصرف خوراکی (بلع) برای رده‌های سنی در شکل (۶) نشان داده شده است.

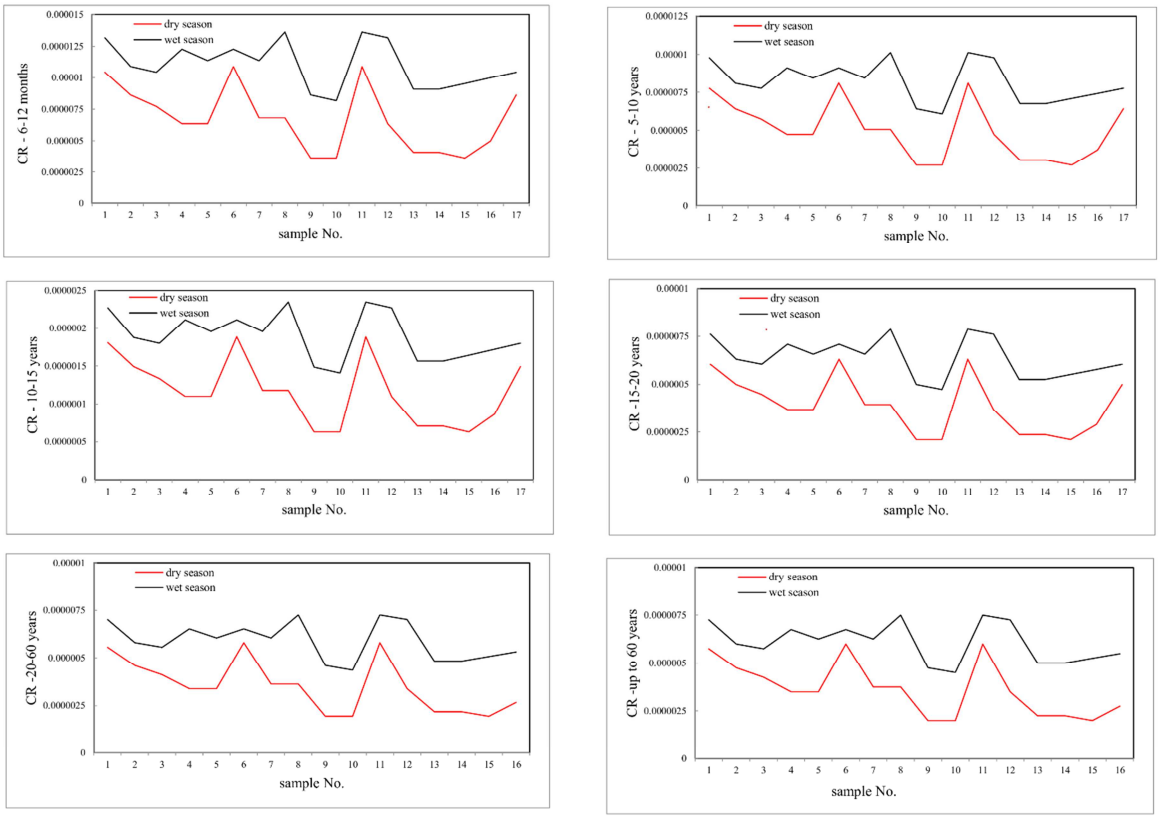

Figure 6. Carcinogenesis risk of different age group for wet and dry seasons

اگر انسان‌ها آب آشامیدنی حاوی سطوح بیش از حد نیترات بنوشند، ممکن است در معرض خطرات عمده سلامتی و مسمومیت قرار گیرند. متهموگلوبینمی یک مثال شناخته‌شده از سمیت نیترات در نوزادان و زنان باردار است. نیترات

هم‌چنین باعث مشکلات تنفسی در بزرگسالان و هم‌چنین سرطان معده، هیپرپلازی غده تیروئید، سردرد و خواب آلودگی و اماس می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد برای بسیاری از نقاط نمونه‌برداری‌شده روستای تموشال برای رده سنی شش تا ۱۲ ماه دارای خطر سرطان‌زایی ست. نگرانی خطر سرطان‌زایی مرتبط با نیترات در روستا در طول دوره تر بیش‌تر از دوره خشک مشاهده شده است، نتایج نشان می‌دهد که در فصل تر ۶۵ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی و در فصل خشک ۱۸ درصد نمونه‌ها برای آشامیدن گروه سنی شش تا ۱۲ ماه نامناسب است و سایر گروه‌های سنی از خطر ریسک سرطان‌زایی نیترات ناشی از نوشیدن رنج نمی‌برند.

نتایج پژوهش‌های در دهه‌های اخیر نشان می‌دهد که غلظت بالای نیترات در آب آشامیدنی با خطرات سرطان‌زایی مرتبط است، حتی برای آن دسته از غلظت‌هایی که به‌طور قابل‌توجهی کم‌تر از حد مجاز فعلی آن است (Schullehner *et al*., 2018). مطالعات بسیاری در مورد خطرات سرطان‌زایی نیترات برای سلامت انسان در آب آشامیدنی وجود دارد (Noori et al., 2022). نتایج ارائه‌شده در این مطالعه توصیه می‌کند که سطح مجاز نیترات باید کاهش یابد تا خطرات سرطان‌زایی بالقوه برای کاربران نهایی علل خصوص نوزادان کاهش یابد. نتایج ارائه‌شده در این مطالعه نشان می‌دهد اکثر نقاط نمونه‌برداری از معیارهای شرایط ایمن با توجه به حداکثر سطوح مجاز نیترات در دوره‌های خشک و تر عبور نمی‌کنند، اما در رده سنی شش تا ۱۲ ماه باعث خطرسرطان‌زایی می‌شوند.

عوامل دیگری مانند جغرافیا، میزان آب مصرفی و سبک زندگی افراد، علاوه بر اجزای موجود در آب آشامیدنی، ممکن است باعث سرطان شوند.

۳– ۲– گزینه‌های کاهش و چالش‌های آینده

شیرابه‌های زمینی در مناطق مختلف ایران هم آب‌های سطحی و هم آب‌های زیرزمینی را آلوده می‌کند و از طریق زنجیره غذایی تهدیدی جدی برای سلامت عمومی دارد. از این رو، توسعه گزینه‌های کاهش لازم برای آلودگی شیرابه در خشکی ضروری است. اولین رویکرد برای جلوگیری از آلودگی شیرابه جداسازی زباله در منابع یا محل تخلیه قبل از دفع است. اگر محل دفن زباله با تفکیک زباله در مبدأ به درستی کنترل شود، آنگاه می‌توان انواع مختلف زباله را به روش‌های مختلفی مدیریت کرد، مانند ارسال برای زباله‌های آلی، بازیافت زباله‌های الکترونیکی، کاغذی و پلاستیکی و انجماد/ تثبیت برای زباله‌های خطرناک. در فرایند انجماد و تثبیت، افزودنی‌ها یا معرف‌های تخصصی با مواد زاید خطرناک مخلوط می‌شوند تا حلالیت یا تحرک آلاینده‌ها را در ماتریکس محیطی اطراف کاهش دهند. اقدامات سازگار با محیط زیست زیر برای بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه تموشال پیشنهاد شده است:

– آب‌های زیرزمینی باید قبل از تأمین آب آشامیدنی به‌ویژه در مناطق روستایی با احداث تصفیه‌خانه‌های مشترک برای نیترات تصفیه شوند.

– برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط شیرابه، باید از دفع مناسب زباله‌های جامد شهری در محل‌های دفن زباله اطمینان حاصل شود.

– کشاورزان برای کاهش غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی نباید کودهای بیش‌تری را در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر مصرف کنند.

– ازآنجایی‌که بی‌کربنات دارای همبستگی منفی با نیترات در منطقه موردمطالعه است، آب‌های زیرزمینی را می‌توان با اتخاذ تکنیک‌های برداشت آب باران به‌طور مصنوعی شارژ کرد.

با وجود تأثیر نامطلوب بر محیط زیست، نمی‌توان از روش‌های دفن زباله و زمین‌ریزی اجتناب کرد، زیرا کشورهای در حال توسعه مانند خاکریزی ایران راحت‌ترین راه مدیریت زباله است. در این مورد، لندفیل‌ها باید با غشاهای مصنوعی و/ یا سایر مواد مهندسی ممکن ساخته شوند تا از خروج فلزات سنگین و سایر مواد سمی به خاک و آب‌های زیرزمینی جلوگیری شود. علاوه بر این، شیرابه تولیدشده را می‌توان از طریق لوله‌ها به یک سیستم فاضلاب تخلیه کرد، جایی‌که می‌توان آن‌ها را نگه داشت، سوزاند یا بیش‌تر تصفیه کرد.

۴- نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نیترات یکی از مهم‌ترین مسائل در شمال ایران است و اثرات جدی بر سلامت انسان دارد. مطالعه حاضر به بررسی دقیق تأثیر نیترات بر سلامت انسان در گروه‌های سنی مختلف مردم در مجاورت محل دفن زباله شهر لاهیجان پرداخت. خلاصه نتایج این پژوهش را می‌توان به شرح ذیل برشمرد:

- غلظت نیترات تمامی نمونه‌ها کم‌تر از حد مجاز ۴۵ میلی‌گرم در لیتر پیشنهادشده USEPA است.
- مقدار NPI نشان داد که در فصل تر ۲۳ درصد نمونه‌ها سالم و ۷۷ درصد مکان نمونه، آلودگی کم و در فصل خشک ۸۲ درصد نمونه‌ها سالم و ۱۸ درصد از نمونه‌ها دارای آلودگی کم است.
- نتایج ریسک غیرسرطان‌زایی نیترات نشان می‌دهد که در فصل تر ۸۳ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی می‌توانند برای گروه سنی شش تا ۱۲ ماه و ۲۰ درصد نمونه‌ها برای گروه سنی پنج تا ۱۰ سال (کودکان) و در فصل خشک ۲۵ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی می‌توانند برای شش تا ۱۲ ماه (شیرخواران) می‌توانند باعث ایجاد اثرات روی سلامتی شوند.
- نتایج ریسک سرطان‌زایی نشان می‌دهد که در فصل تر ۶۵ درصد نمونه‌های آب زیرزمینی و در فصل خشک ۱۸ درصد نمونه‌ها برای آشامیدن گروه سنی شش تا ۱۲ ماه نامناسب است و سایر گروه‌های سنی از خطر ریسک سرطان‌زایی نیترات ناشی از نوشیدن رنج نمی‌برند.
- ارزیابی خطر سلامت انسان فاش کرد که متموگلوبینمی، حمله قلبی، بیماری های قلبی، انفارکتوس میوکارد از عمده‌ترین اثرات سلامتی شناسایی‌شده در منطقه موردمطالعه هستند.
- منابع نیترات یافت‌شده در منطقه موردمطالعه، فعالیت‌های انسان‌زایی مانند محل دفن زباله لاهیجان و زباله‌های ساکنین روستا و کودهای شیمیایی می‌باشد.

۵- پی‌نوشت‌ها

1. World Health Organization
2. International Agency For Research on Cancer
3. United Stats Environmental Agency
4. Human health Risk Assessment
5. Nitrate Polluion Index

۶- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷- منابع

Ahada, C.P.S., & Suthar, S. (2018). Groundwater nitrate contamination and associated human health risk assessment in southern districts of Punjab, India. *Environmental Science Pollution Research*, 25, 25336-25347.

Alardhi, S.M., Albayati, T.M., & Alrubaye, J.M. (2020). A hybrid adsorption membrane process for removal of dye from synthetic and actual wastewater. Chemical Engineering Processing: Process Intensif, 157, 108-113.

Ameur, M., Aouiti, S., Hamzaoui-Azaza, F., Ben Cheikha, L., & Gueddari, M. (2021). Vulnerability assessment, transport modeling and simulation of nitrate in groundwater using SI method and modflow-MT3DMS software: case of Sminja aquifer, Tunisia.*Environmental Earth Sciences* , 80, 220

Amiri, V., Kamrani, S., Ahmad, A., Bhattacharya, P., & Mansoori, J. (2020). Groundwater quality evaluation using Shannon information theory and human health risk assessment in Yazd province. central plateau of Iran. *Environental Science Pollution Research*, 28, 1108-1130.

Aschebrook-Kilfoy, B., Heltshe, S.L., Nuckols, J.R., Sabra, M.M., Shuldiner, A.R., Mitchell, B.D., Airola, M., Holford, T.R., Zhang, Y., & Ward, M.H. (2012). Modeled nitrate levels in well water supplies and prevalence of abnormal thyroid conditions among the Old Order Amish in Pennsylvania. *Environmental Health*, 11, 6.

Badeenezhad, A., Radfard, M., Passalari, H., Parseh, I., Abbasi, F., & Rostami, S. (2019). Factors affecting the nitrate concentration and its health risk assessment in drinking groundwater by application of Monte Carlo simulation and geographic information system.Human and Ecological Risk Assessment,*An International Journal* , 27, 1458-1471.

Bhalla, B. (2013). Effect of age and seasonal variations on leachate characteristics of municipal solid waste landfill. *Internatinal Journal of Research in Engineering Technology*, 2, 223-232.

Chattopadhyay, S., & Dutta, S. (2009). Municipal solid waste management in kplkata, India-a review. *Waste management*, 29, 1449-1458.

Chen, H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., Wu, J., & Wang, J. (2016). Source apportionment and health risk assessment of trace metals in surface soils of Beijing metropolitan, China. *Chemosphere*, 144, 1002-1011.

Cossu, F., Zuffianò, L. E., Limoni, P. P., De Giorgio, G., Pizzardini, P., Miano, T., Mondelli, D., Garavaglia, R., Carella, C., & Polemio, M. (2018). How can the role of leachate on nitrate concentration and groundwater quality be clarified? An approach for landfills in operation (Southern Italy). *Waste Management*, 77 , 156-165.

D'Agostino, F., Bellante, A., Quinci, E., Gherardi, S., Placenti, F., Sabatino, N., Bufa, G., Avellone, G., Di Stefano, V., & Del Core, M. (2020). Persistent and Emerging organic pollutants in the marine coastal environment of the Gulf of Milazzo (Southern Italy): human health risk assessment. *Frontiers in Environmental Science*,8.

Dąbrowska, D., Witkowski, A., & Sołtysiak, M. (2018). Application of pollution indices for the assessment of the negative impact of a municipal landfill on groundwater (Tychy, southern Poland). *Geological Quarterly*, 62 (3), 496-508.

Egbueri, J., & Enyigwe, M.T. (2020). Pollution and Ecological Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Natural Waters from the Ameka Metallogenic District in Southeastern Nigeria. *Analytical Letter*, 53, 2812-2839.

Gerba, C. P. (2019). Risk assessment In: *Environmental and pollution science*, 541-563.

Huang, D., Yang, J., Wei, X., Qin, J., Ou, S., Zhang, Z., & Zou, Y. (2017). Probabilistic risk assessment of Chinese residents' exposure to fluoride in improved drinking water in endemic fluorosis areas. *Environental Pollution*, 222, 118-125.

Islama, S., AL-mamunbd, H., A., & Eatonf, W. D. (2016). Total and dissolved metals in the industrial wastewater: A case study from Dhaka Metropolitan, Bangladesh. *Environmental anotechnology, Monitoring &Managemen*, 5, 74-80.

Javahershenas, M., Nabizadeh, R., Alimohammadi, M., & Mahvi, A.H. (2020). The effects of Lahijan landfill leachate on the quality of surface and groundwater resources. *International Journal Environmental Analytical Chemistry*, 102

Jinling, Wu., Yin, Y., & Wang, J. (2018). Hydrogen-based membrane bioflm reactors for nitrate removal from water and wastewater. *Internatinal Journal Hydrogen Energy*, 43(1-4), 1-15.

Kardan Moghaddam, H., Rahimzadeh, Z., Bahreinimotlagh, M., & KardanMoghddam, H. (2020). Evaluation of the groundwater resources vulnerability index using nitrate concentration prediction approach.*Geocarto International*, 37, 1664-1680.

Kaur, L., Rishi, M.S., & Siddiqui, A.U. (2020). Deterministic and probabilistic health risk assessment techniques to evaluate non-carcinogenic human health risk (NHHR) due to fuoride and nitrate in groundwater of Panipat, Haryana, India. *Environmental Pollution*, 259, 113711.

Kazemi, Z., Arani, M. H., Panahande, M., Kermani, M., & Kazemi, Z. (2021). Chemical quality assessment and health risk of heavy metals in groundwater sources around Saravan landfill, Iran the northernmost province . *International Journal Of Envirinmental Analytical Chemistry*, Latest Article.

Kazemi, Z., Arani, P.M., Panahande, M., & Kermani, M. (2021). Chemical quality assessment and health risk of heavy metals in groundwater sources around Saravan landfill. the northernmost province of Iran. *International Journal of Envirinmental Analytical Chemistry*, 31-38.

Kelava, I., Sutić, I., Pavišić, V., Salać, N., & Bulog, A. (2018). Health safety of water for human consumption in the city of Čabar in the period of 2012-2016. *International Journal of Sanitary Engineering Research*, 12 (2), 27-33.

Kovač, Z., Nakić, D., Špoljarić, D., & Stanek, A. (2018).Bačani, Estimation of Nitrate Trends in the Groundwater of the Zagreb Aquifer. *Geosciences*, 1-17.

Masoudinejad, M., Ghadrpoori, M., Jafari, Nasehifar, J., Malekzadeh, A., & Ghaderpoury, A. (2018). Data on nitrate and nitrate of Taham dam in Zanjan (Iran), *Data Brief*, 17, 431-437.

Mateo-Sagasta, J., Marjani Zadeh, S., & Turral, H. (2018). More people, more food, worse water ? In: A Global Review of Water Pollution from Agriculture. FAO, Rome (Italy).

Mendoza, M. B., Ngilangil, L. E., & Vilar, D. A. (2017). Groundwater and leachate quality assessment in balaoan sanitary landfill in la union, northern Philippines. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 247-252.

Migeot, V., Albouy-Llaty, M., Carles, C., Limousi, F., Strezlec, S., Dupuis, A., & Rabouan, S. (2013). Drinking-water exposure to a mixture of nitrate and low-dose atrazine metabolites and small-for-gestational age (SGA) babies: a historic cohort study. *Environental Research*, 122, 58-64.

Mishra, S., Tiwary, D., Ohri, A., & Agnihotri, A. K. (2019). Impact of municipal solid waste landfll leachate on groundwater quality in Varanasi, India. *Groundwater Sustainable Development*, 9, 100230.

Negi, P., Mor, S., & Ravindra, K. (2020). Impact of landfill leachate on the groundwater quality in three cities of North India and health risk assessment. Environment, *Development and Sustainability*, 22, 1455-1474.

Noori, R., Farahani, F., Jun, C., Aradpour, S., Bateni, S.M., Ghazban, F., Hosseinzadeh, M., Maghrebi, M., Vesali Naseh, M.R., & Abolfathi, S. (2022). A non-threshold model to estimate carcinogenic risk of nitrate-nitrite in drinking water. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132432.

Panneerselvam, B., Karuppannan, S., & Muniraj, K. (2020). Evaluation of drinking and irrigation suitability of groundwater with special emphasizing the health risk posed by nitrate contamination using nitrate pollution index (NPI) and human health risk assessment (HHRA). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 27,1324-1328.

Panneerselvam, B., Muniraj, K., Duraisamy, K., Pande, C., Karuppannan, S., & Thomas, M. (2022). An integrated approach to explore the suitability of nitrate-contaminated groundwater for drinking purposes in a semiarid region of India. *Environmental Geochemmistry Health*, 45, 647-663.

Qasemi, M., Afsharnia, M., Farhang, M., Ghaderpoori, M., Karimi, A., Abbasi, H., & Zarei, A. (2019). Spatial distribution of fluoride and nitrate in groundwater and its associated human health risk assessment in residents living in Western Khorasan Razavi, Iran. *Water Treat*, 170, 176-186.

Sakizadeh, M., & Zhang, C. (2020). Health risk assessment of nitrate using a probabilistic approach in groundwater resources of western part of Iran. *Environmental Earth Science*, 79, 43

Schullehner, J., Hansen, B., Thygesen, M., Pedersen, C.B., & Sigsgaard, T. (2018). Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: a nationwide population-based cohort study. *International Journal of Cancer*, 143 (1), 73-79.

Shalyari, N., Alinejad, A., Hashemi, A.H.G., RadFard, M., & Dehghani, M. (2019). Health risk assessment of nitrate in groundwater resources of Iranshahr using Monte Carlo simulation and geographic information system (GIS). *MethodsX* 6, 1812-1821.

Soleimani, H., Nasri, O., Ghoochani, M., Azhdarpoor, M., Dehghanic, M., Radfard, M., Darvishmotevalli, M., Oskoeia, V., & Heydarie, M. (2020). Groundwater quality evaluation and risk assessment of nitrate using monte carlo simulation and sensitivety analysis in rural areas of Divandarreh County, Kurdistan province, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2213-2231

Taufiq, A., Effendi, A. J., Iskandar, I., Hosono, T., & Hutasoit, L. M. (2019). Controlling factors and driving mechanisms of nitrate contamination in groundwater system of Bandung Basin, Indonesia, deduced by combined use of stable isotope ratios, CFC age dating, and socioeconomic parameters. *Water Research*, 148, 292-305.

Tian, H., Liang, X., Gong, Y., Qi, L., Liu, Q., Kang, Z., Sun, Q., & Jin, H. (2020). Health risk assessment of nitrate pollution in shallow groundwater: a case study in China. *Pollution Journal Environmental*, 29, 827-839.

Toolabi, A., Bonyadi, Z., Paydar, M., Najafpoor, A.A., & Ramavandi, B. (2021). Spatial distribution, occurrence, and health risk assessment of nitrate, fuoride, and arsenic in Bam groundwater resource, Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100543.

USEPA. (1997). Exposure factors handbook. Exposure Assessment Group, Office of Health and Environmental Assessment, US Environmental Protection Agency.

USEPA. (2014). Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance: update of standard default exposure factors-OSWER Directive 9200.1-120. PP.6

Vahabian, M., Hassanzadeh, Y., & Marofi, S. (2019). Assessment of landfill leachate in semi-arid climate and its impact on the groundwater quality case study: Hamedan, *Iran Einviron Monit Assess*, 191, 109.

WHO .(2017). Guidelines for drinking water quality, 4th edition incorporating the first addendum. World Health Organization, Geneva.

Zhai, Y., Zhao, X., Teng, Y., Li, X., Zhang, J., Wu, J., & Zuo, R. (2017). Groundwater nitrate pollution and human health risk assessment by using HHRA model in an agricultural area, NE China.*Ecotoxicology and Environmental Safety*, 137, 130-142.