Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Spring 2025, Vol. 15(1): 171 - 188

Research Article

Identifying the sources of hydrocarbon pollution in the unconfined aquifer around the Tabriz Railway Station

Sara Mashmoul Kovich[1], Abdorreza Vaezihir[1]*, Mehri Tabarmayeh[1]

1- Department of Earth Sciences, Natural Science Faculty, University of Tabriz, Tabriz

Keywords: *Tabriz railway station, Groundwater, Hydrocarbon substances, Determination, Monitoring wells, Pollution plume.*

1-Introduction

Groundwater contamination with hydrocarbons is a serious environmental issue, particularly in oil-producing countries. This pollution mainly arises from oil and gas exploration, extraction, transport activities, leaks from pipelines, storage tanks, refineries, and chemical and industrial wastewater infiltrating the soil and groundwater (Ogolo, 2022). Pollutants enter groundwater as point and non-point sources (Stefanakis et al., 2017). When pollutants leak into the ground, some are absorbed by sediments, while others can infiltrate groundwater. These pollutants are known as NAPL and are divided into two categories: LNAPL (lighter than water) and DNAPL (denser than water). LNAPL remains afloat on the water's surface, whereas DNAPL penetrates deeper into the groundwater aquifers and accumulates at their bottom (Vaezihir et al., 2021). Hydrocarbon contaminants are categorized as either aliphatic or aromatic. Aromatic compounds, which include BTEX (benzene, toluene, xylene, and ethylbenzene) and PAHs (such as naphthalene, phenanthrene, and anthracene), are particularly hazardous due to their toxicity and environmental impact. BTEX compounds are highly volatile and soluble, while PAHs are known to be mutagenic and carcinogenic (McCain & Worth, 1990). This type of pollution has been reported in the lands surrounding the Tabriz railway station, located in Tabriz, East Azerbaijan, where hydrocarbon substances have been released from its reservoirs. Contamination has been detected in the wells of nearby agricultural lands. Alarmingly, no official measures have been taken to investigate the nature and source of this pollution in the Tabriz railway area. This study aims to explore the hydrogeological characteristics of the aquifer and identify the type of pollution by establishing a network of monitoring wells. Additionally, the research will determine the sources of detected pollution to prevent further spread and clarify existing uncertainties regarding the nature of the pollution.

2-Materials and methods

The Tabriz plain has a multi-layer aquifer, separated by a marl layer at a depth of approximately 25.5 meters, based on the information obtained from the logs of exploratory wells. A monitoring network of 10 exploratory-monitoring-remediation wells was established across the region to identify contamination sources and define possible plume movement. After well completion and water level measurements, a groundwater contour map was created for September 2024. The head of water level in the southeast, east, and northwest areas indicated groundwater flow from these zones toward the west and southwest. The highest water levels recorded were 1337, 1337.8, and 1336.6 meters in these respective areas. Subsequently, groundwater sampling was conducted from 22 wells to detect potential pollutants and the thicknesses of LNAPL (light non-aqueous phase liquids) resulting from Mazut, diesel, and Used oils for pollution determination. The samples were analyzed for hydrocarbon content at the central Lab, University of Zanjan, using GC-MS instrumentation.

* Corresponding author: vaezihir@yahoo.com
DOI: 10.22055/aag.2025.48337.2485
Received: 2024-11-11
Accepted: 2025-02-11

ISSN: 2717-0764

3-Results and discussions

The analysis of groundwater samples from the Tabriz region assessed BTEX and PAH compounds, which are significant for their health impacts. Concentrations of these compounds were compared to Iran's national standards (ISIRI 1053, 1388) for maximum levels of toluene, benzene, ethylbenzene, and xylene. BTEX levels exceeded standards only in well BH3. Total petroleum hydrocarbons (TPH) were highest in W1 and BH5, while PAH levels also showed similar elevations. Contaminant sources were identified through various analytical methods, including comparisons with potential sources (Mazut, diesel, and Used oils) and chromatographic fingerprinting. Analysis revealed that Well BH3 was similar to diesel, and Wells W1, BH5, and BH8 share a common source of contamination related to diesel and Mazut storage tanks. The contamination source for well BH7 originates from diesel and Used oil storage. Wells W4 and W12 have a similar contamination source, which includes diesel, Mazut, and used oil. The pollution of some wells, BH2, W8, and W9, was caused by Atmospheric washout. The plume, driven by groundwater flow, was found to originate from fuel storage and has spread toward wells W1, W4, W12, BH3, BH5, BH7, and BH8.

4-Conclusion

In this study, out of 22 groundwater samples analyzed for hydrocarbon contamination, 10 contaminated wells were identified, with four located within the railway area and six outside of it. Unauthorized levels of BTEX compounds were found in well BH3 (toluene at 1.85 mg/L). Some levels of other BTEX compounds, such as toluene (in well BH2 with 0.03 mg/L concentration) and xylene (in wells W8, W9, and W12 with 0.0122, 0.0133, and 0.413 mg/L concentrations, respectively), were also observed in some wells. However, their concentrations did not exceed the permissible limit set by the ISIRI1053 standard. The highest TPH and PAH concentrations were recorded in well W1, outside of the railway properties (33.79 and 1.05 mg/L, respectively), and in well BH5, within railway properties (0.76 and 0.46 mg/L, respectively). Based on the comparison of fingerprint chromatograms, the quantity and type of hydrocarbon compounds in the pollutant sources and samples, it was observed that the source of contamination in wells W1, BH5, and BH8 was related to the Diesel and Mazut tanks. Wells W4 and W12 had the same origin of contamination, and some concentrations of Mazut, Diesel, and Used oil were in them. Well, BH3 is contaminated due to the Diesel tanks, and finally, the contamination is well, BH7 is a mixture of Diesel and Used oil. Also, the contamination plume, resulting from Diesel, Mazut, and deposit's storage as contaminants, is spreading westward and has reached monitoring wells BH3, BH5, BH7, and BH8, as well as agricultural wells W1, W4, and W12.

Acknowledgments

The authors thank the Islamic Republic of Iran Railways, especially the Azerbaijan Railway Region, for providing part of this project's funding and sharing the data and information.

References

ISIRI 1053, 1388. Drinking water physical and Chemical specifications.5th revision. Institute of standard and industrial research, Iran 1053.

McCain, W., and Worth, F., 1990. The Properties of Petroleum Fluids.

Ogolo, NA., Anih, OC., and Onyekonwu, MO., 2022. Sources and effects of environmental pollution from oil and gas industrial operations. Arabian Journal of Chemical and Environmental Research 9(01), 98-121. https://doi.org/10.5281/zenodo.7224406.

Stefanakis, AI., Zouzias, D., Marsellos, A. N. T. O. N. I. O. S., 2017. Groundwater pollution: Human and natural sources and risks. Environmental Science and Engineering 4.

ISSN: 2717-0764

Vaezihir, A., Mohammadzadeh, M., Bakhtiari, Sh., Nematollahi, R., 2021. Identification of LNAPL phase of oil contaminants in the aquifer of Bandar Abbas Oil Refinery. Human and Environment 19(59), 141-158.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Mashmoul Kovich, S., Vaezihir, A., Tabarmayeh, M,. 2025. Identifying the sources of hydrocarbon pollution in the unconfined aquifer around the Tabriz Railway Station. Adv. Appl. Geol. 15(1), 171-188.
DOI: 10.22055/aag.2025.48337.2485
https://aag.scu.ac.ir/article_19878.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

شناسایی منشا آلودگی هیدروکربنی در آبخوان آزاد محدوده ایستگاه راه‌آهن تبریز

سارا مشمول کویچ
دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، گروه زمین شناسی
عبدالرضا واعظی
دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، گروه زمین شناسی
مهری تبرمایه
دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، گروه زمین شناسی
vaezihir@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

چکیده

آبخوان ایستگاه راه‌آهن تبریز به دلیل نشت هیدروکربن‌ها از مخازن رو زمینی (گازوئیل) و زیرزمینی (مازوت)، و دفن روغن‌های سوخته دچار آلودگی شده است. برای شناسایی منشا آلودگی، ۱۰ حلقه چاه اکتشافی- پایشی- پاکسازی با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی (از جنوب شرق و شرق به سمت غرب و شمال غرب) حفر گردید و سپس نمونه‌برداری از این چاه‌ها و چاه‌های موجود انجام یافت. آنالیز نمونه‌ها با تکنیک GC-MS و تحلیل نتایج نشان داد که این نمونه‌ها حاوی مواد هیدروکربنی هستند. غلظت مواد هیدروکربنی، به ویژه تولوئن، در چاهی در جنوب غرب مخازن گازوئیل و مازوت به ۱/۸۵ میلی‌گرم در لیتر رسید که بالاتر از حد استاندارد ملی آب شرب ایران است. همچنین، مقادیر PAH (هیدروکربن‌های پلی آروماتیک) و TPH (مجموع هیدروکربن‌های نفتی) در دو چاه واقع در غرب و جنوب غرب مخازن قابل توجه بود. بیشترین مقادیر TPH و PAH به ترتیب ۳۳/۷۹ و ۱/۰۵ میلی‌گرم در لیتر در چاه خارج از اراضی راه‌آهن و ۰/۷۵ و ۰/۴۶ میلی‌گرم در لیتر در چاه داخل ثبت گردید. منشأ آلودگی چاه‌های موجود با مقایسه مقادیر ترکیبات مختلف هر نمونه، شناسایی نوع ترکیبات و تحلیل گراف‌های مربوط به ترکیبات هر نمونه تعیین شد. نتایج نشان داد که منشأ برخی چاه‌ها به ترکیب مازوت، گازوئیل و روغن‌های سوخته نسبت داده می‌شود. همچنین در دیگر چاه‌ها، یک یا دو منبع از این آلاینده‌ها مشخص گردید. نتایج حاصل از این مطالعه، حرکت پلوم آلودگی به سمت غرب و جنوب غرب را نشان داده و لزوم اتخاذ اقدامات کنترلی برای حفاظت از منابع آبی در منطقه را به وضوح مطرح می‌کنند.

کلمات کلیدی: *ایستگاه راه آهن تبریز، آب‌های زیرزمینی، مواد هیدروکربنی، تعیین منشا، پلوم آلودگی*

۱- مقدمه

آلودگی آب‌های زیرزمینی با مواد هیدروکربنی، یکی از چالش‌های جدی زیست‌محیطی در کشورهای تولیدکننده نفت به شمار می‌رود. این آلودگی عمدتاً به واسطه فعالیت‌های اکتشاف، استخراج و انتقال نفت و گاز، نشت از خطوط لوله، مخازن و تصفیه‌خانه‌های نفت، همچنین نشت مواد شیمیایی و پساب‌های صنعتی به خاک و آب‌های زیرزمینی رخ می‌دهد (Ogolo, 2022). انتقال آلاینده‌ها به این منابع می‌تواند به دو صورت نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای انجام شود (Stefanakis et el., 2017). زمانی که آلاینده‌ها به سطح زمین نشت می‌کنند، بخشی از آن‌ها توسط رسوبات جذب شده و برخی به آب‌های زیرزمینی نفوذ می‌کنند. به این آلاینده‌ها NAPL (Non-Aqueous Phase Liquid) گفته می‌شود که به دو دسته LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquid - سبکتر از آب) و DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid - سنگین‌تر از آب) تقسیم می‌شوند. LNAPL روی سطح آب شناور می‌ماند، در حالی که DNAPL به اعماق سفره‌های آب زیرزمینی نفوذ کرده و در کف آن‌ها تجمع می‌کند (Vaezihir et al., 2021).

آلاینده‌های هیدروکربنی به دو دسته اصلی آلیفاتیک و آروماتیک تقسیم می‌شوند. از مهم‌ترین ترکیبات آروماتیک می توان به BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene isomers) و PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbon) اشاره کرد که به خاطر سمیت و اثرات زیان‌بارشان بر سلامت انسان و محیط زیست دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. BTEX شامل بنزن، تولوئن، زایلن و اتیل بنزن است که به دلیل نقطه تبخیر پایین، بسیار فرار بوده و از سمّی‌ترین و محلول‌ترین هیدروکربن‌ها در آب محسوب می‌شوند. از سوی دیگر، PAH ها شامل ترکیبات چندحلقه‌ای نظیر نفتالین،

فنانترن و آنتراسین هستند که به دلیل خاصیت جهش‌زایی و سرطان‌زایی خود، برای سلامتی و محیط زیست خطر جدی محصوب می شوند (McCain and Worth, 1990). با توجه به اهمیت آلودگی آب‌های زیرزمینی و عواقب زیان‌بار آن، شناسایی منابع آلودگی مورد توجه قرار گرفته و مطالعات متعددی در سطح ملی و بین‌المللی انجام شده است. به عنوان مثال، Naseri و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای در منطقه ری، ۳۳ منبع آب زیرزمینی را نمونه‌برداری کردند و دریافتند که بخش جنوبی این منطقه به دلیل نزدیکی به حوضچه‌های تبخیر پالایشگاه، غلظت بالایی از ترکیبات آروماتیک را دارد. همچنین وجود مخازن سطحی و زیرزمینی، مواد نفتی و شیمیایی و آب‌شویی خاک‌های سطحی به عنوان دیگر منابع آلودگی در این مطالعه شناخته شدند. در مطالعه Wang و همکاران (۲۰۲۱) در جنوب غربی چین، از روش‌های شبیه‌سازی عددی و ارزیابی ریسک بهداشتی برای شناسایی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده شد. نتایج نشان داد که آبخوان منطقه به عنوان منبع آب آشامیدنی، تحت تأثیر پلوم آلاینده ناشی از لندفیل قرار دارد. همچنین Khodaei و همکاران (۲۰۲۱) نیز با حفر چاه‌های اکتشافی، در همین منطقه پنج هاله آلودگی ناشی از نشت خط‌های انتقال فرآورده‌های نفتی را شناسایی کردند. همچنین، Vaezihir و همکاران (۲۰۲۱) با نمونه‌برداری از چاه‌های پایش در پالایشگاه بندرعباس، ضخامت ماده نفتی را در ۱۱ چاه اندازه‌گیری کردند. آن‌ها حداکثر ضخامت را ۱۱۵ سانتیمتر و حداقل را ۰/۰۵ سانتیمتر گزارش کردند و نشت را منبع اصلی آلودگی ناشی از مخازن بنزین، گازوئیل و نفت سفید دانستند. این تیم پیشنهاد حفر شش حلقه چاه پایش جدید را برای بررسی دقیق‌تر مطرح کرد.

حمل و نقل ریلی، اگرچه به‌عنوان گزینه‌ای دوستدار محیط زیست شناخته می‌شود، می‌تواند به دلیل استفاده از روغن های روان کننده و سوخت قطارها منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی شود (Wiłkomirski et al., 2011). ایستگاه راه‌آهن تبریز در استان آذربایجان شرقی یکی از مناطق متاثر از این بین است. بر اساس تحقیقات Vaezihir و Tabarmayeh (۲۰۱۵)، منابع آب زیرزمینی این منطقه به‌طور قابل توجهی در معرض آلودگی قرار دارند. گزارش‌ها حاکی از نشت مخازن سوخت در ایستگاه راه‌آهن و شکایات کشاورزان از سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷، نشان می‌دهد که آلودگی ممکن است به دلیل نشت از محل‌های سوخت‌گیری، خطوط انتقال، و محل‌های دفن روغن‌های سوخته از سال‌ها پیش آغاز شده باشد. با توجه به وجود سه مخزن در محدوده راه‌آهن تبریز، ادعای مبنی بر اینکه منبع آلاینده‌های موجود ناشی از این مخازن سوخت است، می‌تواند قابل بررسی باشد. آلاینده‌هایی که انتظار می‌رود مرتبط با این مخازن باشند، شامل مازوت، گازوئیل و روغن موتور می‌شوند. مازوت، به عنوان یک ماده نفتی با ویسکوزیته‌های متنوع، شامل هیدروکربن‌های سنگینی است که شامل رزین‌ها، آلکان‌های بلند زنجیر و آسفالتن می‌شود (Heydari Kashl et al., 2013). این ترکیب به دلیل غلظت و محتوای هیدروکربنی خود، می‌تواند تأثیرات زیست‌محیطی چشم‌گیری را ایجاد کند. از سوی دیگر، گازوئیل، ترکیبی هیدروکربنی می باشد که به دلیل خاصیت آب‌گریزی و ناپایداری خود در آب، شامل هیدروکربن‌هایی با تعداد کربن بین ۹ تا ۲۰ و نقطه جوش ۱۶۳ تا ۳۵۷ درجه سانتی‌گراد است (Gad et al., 2005). روغن موتور نیز به عنوان ترکیبی از هیدروکربن‌ها و افزودنی‌های شیمیایی، نقش مهمی در ایجاد آلاینده‌ها ایفا می‌کند. این روغن‌ها پس از مصرف به روغن‌های سوخته تبدیل می‌شوند که حاوی هیدروکربن‌های آروماتیک مختلفی بوده که به دلیل خواص سرطان‌زایی و سمی خود، می‌توانند مخاطرات جدی برای محیط‌زیست و سلامت عمومی ایجاد کنند. با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه و چالش های موجود، بررسی ماهیت آلودگی و شناسایی منابع آن امری ضروری می باشد؛ این در حالی است که تا کنون هیچ اقدامی جهت بررسی ماهیت و منبع آلودگی در محدوده راه‌آهن تبریز انجام نشده است. به همین منظور، در این مطالعه سعی گردید تا با احداث شبکه‌ای از چاه‌های پایش، ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان بررسی و نوع آلودگی‌ها شناسایی شوند. این تحقیق همچنین به بررسی و تعیین منشا آلاینده‌ها خواهد پرداخت تا علاوه بر رفع ابهامات موجود درباره ماهیت آلودگی، از انتشار و گسترش بیشتر آلاینده‌ها نیز جلوگیری شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

ایستگاه راه‌آهن تبریز در سال ۱۲۹۵ با بهره‌برداری از خط آهن تبریز به جلفا به طول ۱۴۹ کیلومتر تأسیس شد و در سال ۱۳۳۷ نیز با ایجاد خط تبریز به تهران به طول ۷۴۸ کیلومتر به بهره‌برداری رسید. این ایستگاه به‌عنوان مهم‌ترین ایستگاه در شبکه راه‌آهن آذربایجان شناخته می‌شود که در دشت تبریز واقع شده است (شکل۱). مهم‌ترین سوخت مورد استفاده در این منطقه، گازوئیل است.

در این منطقه، راه‌های ارتباطی اصلی شامل اتوبان شهید کسایی و جاده سنتو هستند. بر اساس داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تبریز از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۳ میلادی، متوسط بارندگی

سالانه ۲۵۴/۲۲ میلی‌متر و متوسط دما ۱۳/۲۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. این محدوده در داخل نهشته‌های کواترنر قرار می گیرند (شکل۲). این نهشته‌ها در دشت تبریز در ابتدا، در دامنه کوه مورو و دره امند، به شکل تپه‌ماهورها با رسوبات تراسی و مخروط‌افکنه‌ها ظاهر شده اند. سپس سطح اصلی دشت تبریز به وسیله رسوبات تراسی جوان‌تر پوشانده شده و به مناطق دانه‌ریز و مسطح در مرکز دشت افزوده می‌شود که شامل اراضی زه‌دار و شور هستند. نهایتاً، این مناطق به نواحی مسطح تبخیری و شوره‌زاری حاشیه دریاچه ارومیه می‌رسند. بستر رودخانه‌ها، به ویژه در نقاط ورود به دشت، با رسوبات آبرفتی دانه‌های درشت پوشیده شده است (Tabarmayeh, 2013).

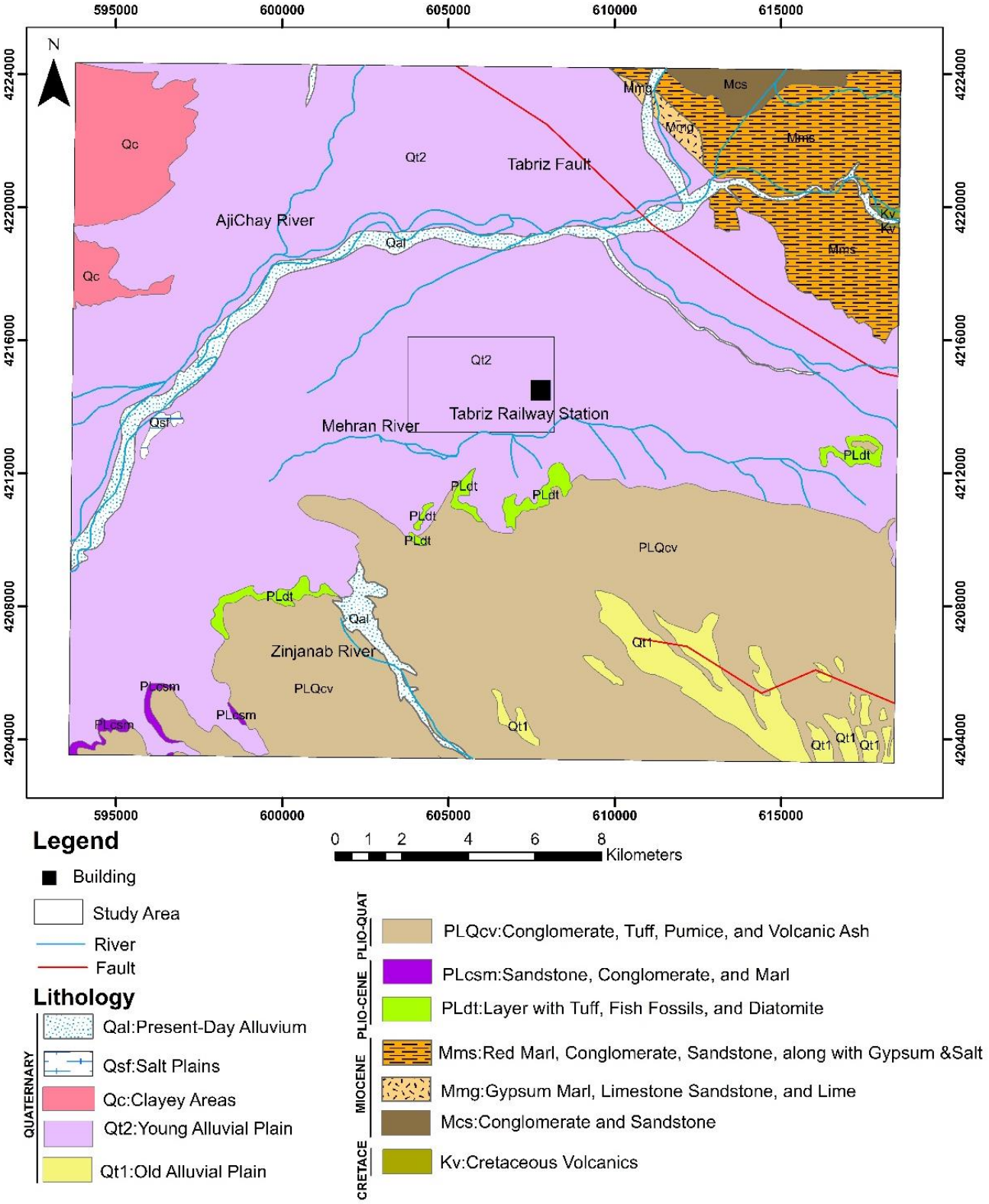
۲-۲- بررسی وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان

دشت تبریز دارای یک آبخوان دولایه‌ای است که بر اساس اطلاعات حاصل از حفاری‌های انجام‌شده در منطقه، این دو لایه با یک لایه مارن در عمق حدود ۲۵/۵ متری از هم تفکیک شده‌اند. در این مطالعه، به‌دلیل آسیب‌پذیری لایه بالایی، بر روی آبخوان آزاد تحقیق خواهد شد. این آبخوان دارای هدایت هیدرولیکی (نفوذپذیری) بین ۰/۰۰۱ و ۱۳۲/۵۳ متر در روز و ضخامت ۱۰۰ متر مشخص شده است (Tabarmayeh, 2013). بررسی داده‌های سطح آب اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی نشان می‌دهد که جهت جریان غالب آب زیرزمینی از جنوب شرق به سمت شمال غرب است. برای تعیین منبع آلودگی و بررسی دقیق حرکت ابرآلودگی، وجود چاه‌های پایش با پراکندگی مناسب جهت نمونه‌برداری در منطقه الزامی است. به همین منظور، موقعیت ۱۰ حلقه چاه اکتشافی- پایش- پاکسازی با آرایش مثلثی که به عنوان بهینه‌ترین حالت تراکم چاه‌ها و بهترین پوشش برای پایش آبخوان شناسایی شده است، جهت حفاری تعیین گردید.



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعه نسبت به شهر تبریز.

Fig 1. The location of the study area relative to the Tabriz city.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (رقومی شده از نقشه‌ی $\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰}$ تبریز).

Fig 2.Geological map of the study area (Digitized from the 1:100,000 Tabriz map).



شکل ۳- موقعیت چاه‌های موجود در منطقه.

Fig 3. Location of existing wells in the area.

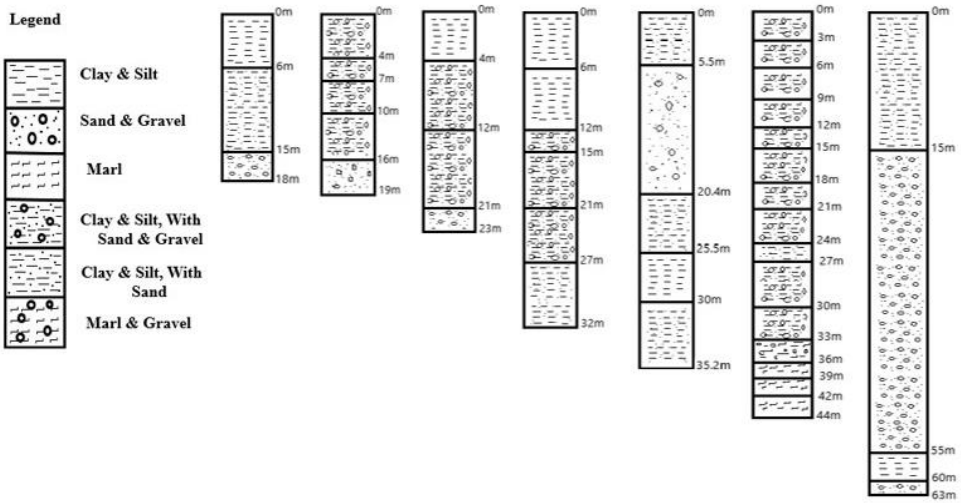
پس از تعیین موقعیت چاه‌ها (شکل۳)، حفاری چاه‌ها به روش ضربه‌ای و تجهیز چاه‌ها شامل، لوله‌گذاری، گراول‌ریزی، ساخت دهانه و نصب درپوش انجام شد. با توجه به اهمیت لاگ حفاری در شناسایی جنس بدنه آبخوان، و به دلیل عدم امکان جمع‌آوری مغزه حفاری در محدوده مورد مطالعه، از داده‌های مربوط به لاگ‌های حفاری‌های پیشین در دشت تبریز و نزدیک ایستگاه راه‌آهن تبریز بهره گرفته شد. طبق این لاگ‌ها که در شکل ۴ نشان داده شده‌اند، جنس بدنه آبخوان از سطح به عمق شامل لایه‌های رسی و سیلتی است. با عمق بیشتر، ذرات گراول و ماسه به‌صورت مخلوط با لایه‌های رسی و سیلتی مشاهده می‌شوند و گاهی نیز ترکیبی از ذرات ماسه و گراول دیده می‌شود.

پس از تکمیل چاه‌ها و اندازه‌گیری سطح آب، نقشه خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی برای شهریورماه ۱۴۰۳ در محدوده راه‌آهن تبریز رسم گردید (شکل ۵). در این نقشه، بالا آمدگی‌هایی از سطح آب در نواحی جنوب شرق، شرق و شمال غرب مشاهده می‌شود که منجر به جریان آب از این مناطق به اطراف شده است. به‌عبارتی، جریان آب از جنوب شرق و شرق به سمت غرب و از شمال غرب به سمت جنوب می باشد. با این حال، به دلیل برداشت زیاد از چاه‌های موجود در غرب منطقه و تشکیل مخروط افت، جهت جریان نسبت به جهت عمومی آبخوان به صورت محلی کمی تغییر یافته و به سمت چاهی با افت بیشتر، متمایل شده است. همچنین، بالاترین سطح آب در بخش‌های جنوب شرق، شرق و شمال غرب به‌ترتیب با تراز ۱۳۳۷، ۱۳۳۷/۸ و ۱۳۳۶/۶ متر ثبت شده است. جریان آب در این منطقه، به‌طور کلی از جنوب شرق و شرق به سمت غرب، و از شمال غرب به سمت جنوب و غرب است.

در ادامه، به منظور شناسایی منبع آلودگی در محدوده مورد مطالعه، نمونه‌برداری از آب زیرزمینی ۲۲ حلقه چاه انجام شد. این نمونه‌برداری از منابع احتمالی آلاینده شامل مازوت، گازوئیل، و روغن‌های سوخته و همچنین از چاه‌هایی که دارای LNAPL (فاز نفتی آزاد سبک) بودند، انجام شد. نمونه‌برداری شامل چاه‌های بهره‌برداری (W1 تا W12) و چاه‌های اکتشافی، پایش و پاکسازی (BH1 تا BH10) بود (شکل ۳). نتایج اندازه‌گیری LNAPL در چاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

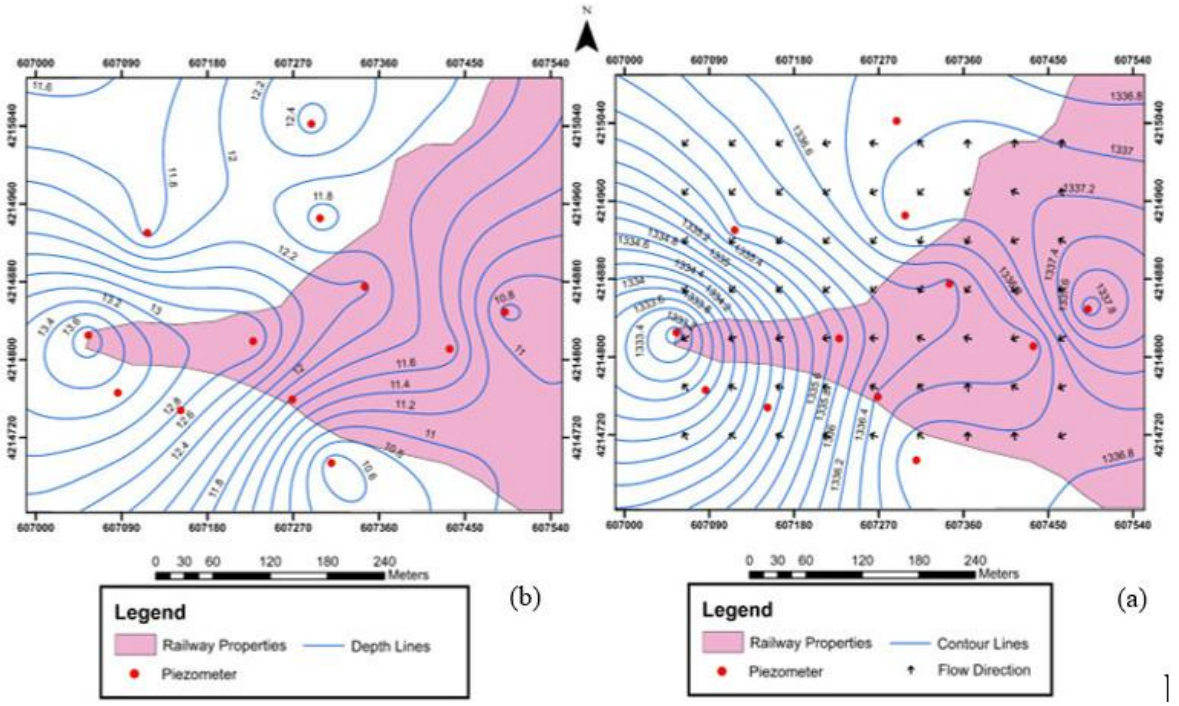
نمونه‌های برداشت شده در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه زنجان مورد آنالیز قرار گرفتند. آنالیز مواد هیدروکربنی در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه GC-MS و به روش استخراج مایع– مایع (LLE) انجام شد. این روش یکی از روش‌های متداول استخراج است که در آن انتقال مواد حل‌شده از یک فاز مایع به فاز مایع دیگر انجام می‌شود. در این روش، برای جداسازی دوفاز از حلال دی‌کلرومتان (Merc) استفاده می‌شود و پس از تغلیظ نمونه، یک میکرو لیتر از آن به دستگاه تزریق می‌گردد. برنامه دمایی به کار رفته در این آنالیز به این صورت است: دستگاه به مدت ۳۰ ثانیه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد

باقی می‌ماند و سپس با نرخ ۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش دما می‌یابد. پس از رسیدن به دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، دستگاه به مدت ۳۰ ثانیه در این دما می‌ماند. در نهایت، با نرخ ۱۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه، دما تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و به مدت ۱ دقیقه در این دما باقی می‌ماند (Abbaspour, 2022). نتایج آنالیز مواد هیدروکربنی در نمونه‌های برداشت شده در جدول ۲، نتایج آنالیز مواد هیدروکربنی منابع آلاینده در محدوده مورد مطالعه در جدول ۳ و نتایج آنالیز مواد هیدروکربنی LNAPL مشاهده شده در یکی از چاه‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- لاگ‌های حفاری چاه‌های اکتشافی منطقه.

Fig 4. Drilling logs of exploratory wells in the area.



شکل ۵- (a) نقشه خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی برای محدوده مورد مطالعه (شهریور ماه ۱۴۰۳) و (b) نقشه خطوط هم‌عمق آب زیرزمینی برای محدوده مورد مطالعه (شهریور ماه ۱۴۰۳).

Fig 5.(a) Iso groundwater level map for the study area (September 2024), and (b) Iso groundwater depth map for the study area (September 2024).

جدول ۱- عمق سطح آب و ضخامت LNAPL در چاه‌های منطقه مورد مطالعه (فروردین ماه ۱۴۰۳).

Table 1. Thickness of LNAPL in wells within the study area (April 9, 2024).

Thickness of LNAPL (cm)	Water level (m)	Well ID
59	10.83	W1
0	10.17	W12
0	9.04	BH1
0	10.62	BH2
0	11.76	BH3
0	10.97	BH4
0	11.62	BH5
0	10.30	BH6
0	10.13	BH7
0	10.62	BH8
0	11.69	BH9
0	12.69	BH10

جدول ۲- نتایج آنالیز مواد هیدروکربنی آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه بر حسب میلی‌گرم بر لیتر.

Table 2.Results of groundwater hydrocarbon analysis in the study area in terms of milligrams per liter.

Well ID	Benzene	Toluene	Xylene	Ethyl Benzene	Tri Methyl Benzenes	Methyl Tertiary Butyl Ether	Poly Aromatic Hydrocarbons	Aromatic Hydrocarbons	Total Petroleum Hydrocarbons
BH1	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
BH2	N/D	0.03	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
BH3	N/D	1.846	N/D	N/D	0.456	N/D	N/D	N/D	N/D
BH4	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
BH5	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0.46	0.2966	0.7566
BH6	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
BH7	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0.3886	0.3886
BH8	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0.6	21.433	22.033
BH9	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
BH10	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
W1	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	1.05	7.373	33.794
W2	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
W3	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
W4	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0.465	14.5732	15.0382
W5	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
W6	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
W7	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
W8	N/D	N/D	0.0122	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
W9	N/D	N/D	0.0133	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
W10	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
W11	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
W12	N/D	N/D	0.413	N/D	0.444	N/D	0.21	1.9163	2.1263

*N/D. Not detected

جدول ۳- نتایج آنالیز مواد هیدروکربنی منابع آلاینده در محدوده مورد مطالعه بر حسب میلی‌گرم بر لیتر.

Table 3. Results of the hydrocarbon material analysis of pollutant sources in the study area are expressed in milligrams per liter.

Well ID	Benzene	Toluene	Xylene	Ethyl Benzene	Tri Methyl Benzenes	Methyl Tertiary Butyl Ether	Poly Aromatic Hydrocarbons	Aromatic Hydrocarbons	Total Petroleum Hydrocarbons
Mazut	N/D	1.13	20.765	N/D	60.644	N/D	0.287	154/238	154.5208
Gasoil	N/D	14.97	16.53	7.999	18.75	N/D	0.32	70.081	70.396
Used Oil	N/D	0.658	0.554	N/D	1.475	N/D	0.325	75.174	75.499

*N/D. Not detected

جدول ۴- نتایج آنالیز مواد هیدروکربنی LNAPL چاه W1 در محدوده مورد مطالعه بر حسب میلی‌گرم بر لیتر.

Table 4. Results of LNAPL hydrocarbon analysis in well W1 within the study area in terms of milligrams per liter.

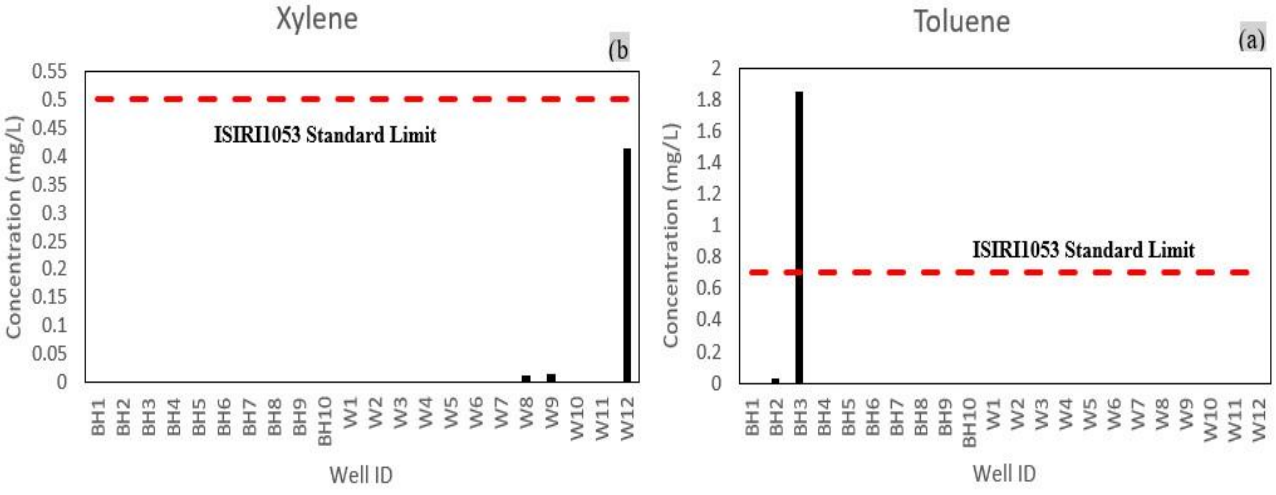
Well ID	Benzene	Toluene	Xylene	Ethyl Benzene	Tri Methyl Benzenes	Methyl Tertiary Butyl Ether	Poly Aromatic Hydrocarbons	Aromatic Hydrocarbons	Total Petroleum Hydrocarbons
W1	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	1.55	49.293	50.943

*N/D. Not detected

۳- بحث و نتایج

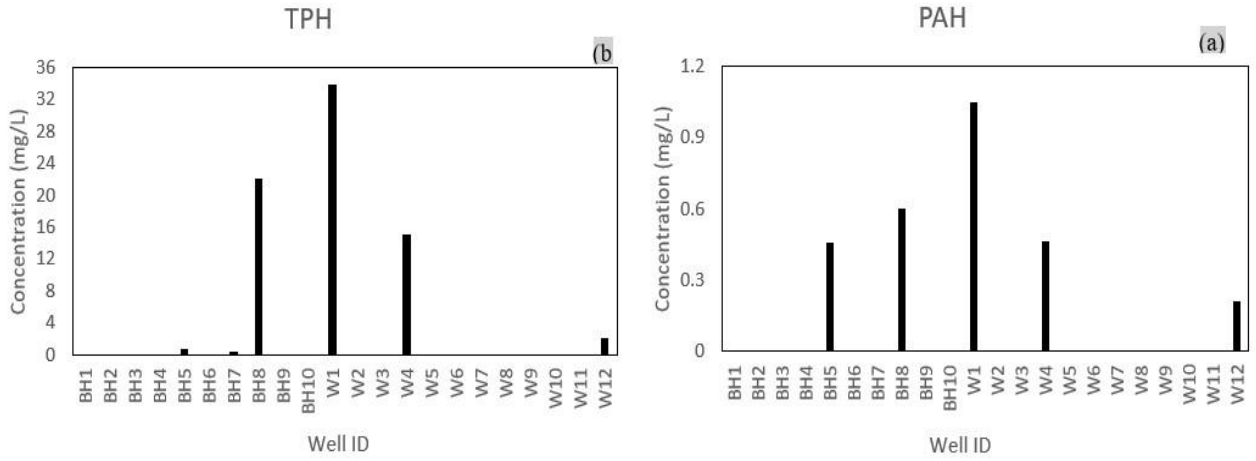
پس از آنالیز نمونه‌ها، غلظت ترکیبات BTEX و PAH ها به دلیل اهمیت آن‌ها بر سلامت انسان مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر این ترکیبات با حداکثر غلظت مجاز برای تولوئن، بنزن، اتیل بنزن و زایلن طبق استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران مقایسه شد که به ترتیب برابر با ۰/۷، ۰/۰۱، ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر است. نتایج نشان داد به جز چاه3BH (غلظت تولوئن۱/۸۴۶ میلی گرم بر لیتر)، مقدار BTEX در سایر نمونه‌ها، کمتر از حد استاندارد می باشد. مقادیری از تولوئن در چاه BH2 با مقدار ۰/۰۳ میلی گرم برلیتر و مقادیری از زایلن در چاه‌های W8، W9 و W12 به ترتیب با مقدار ۰/۰۱۲۲، ۰/۰۱۳۳ و ۰/۴۱۳ میلی گرم بر لیتر ثبت شده است (شکل ۶).

بیشترین مقادیر TPH (Total Petroleum Hydrocarbons - مجموع هیدروکربن‌های نفتی) به ترتیب از خارج از اراضی راه‌آهن و داخل اراضی مربوط به چاه‌های W1 و BH5 با غلظت‌های ۳۳/۷۹ و ۰/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر است. همچنین، مقادیر PAH در این چاه‌ها به ترتیب ۱/۰۵ و ۰/۴۶ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است (شکل ۷).



شکل ۶- (a) غلظت ترکیبات تولوئن و (b) زایلن در چاه‌های نمونه برداری شده در محدوده مورد مطالعه.

Fig 6.(a) Concentration of compounds Toluene, and (b) Xylene in sampled wells within the study area.



شکل ۷- غلظت مواد هیدروکربنی (a) PAH و (b) TPH در چاه‌های نمونه برداری شده در محدوده مورد مطالعه.
Fig 7.(a) Hydrocarbons concentration in sampled wells within the study area: PAH, and (b) TPH.

۳-۱- تعیین منشا آلاینده

برای تعیین منبع ترکیبات آلاینده، نمونه‌ها با استفاده از روش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفتند. این روش‌ها شامل مقایسه مقادیر ترکیبات مختلف موجود در هر نمونه، شناسایی نوع ترکیبات، و تحلیل گراف‌های مربوط به ترکیبات هر نمونه است. با تحلیل دقیق این داده‌ها، می‌توان به درک بهتری از منابع آلاینده‌ها دست یافت که در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. هم‌چنین لازم به ذکر است که با توجه به نتایج و مقادیر مواد هیدروکربنی در چاه‌های BH2 (تولوئن با مقدار ۳۰ میکروگرم برلیتر)، W8 (زایلن با مقدار ۱۲/۲ میکروگرم بر لیتر) و W9 (زایلن با مقدار ۱۳/۳ میکروگرم بر لیتر)، احتمال می‌رود که آلودگی آن‌ها ناشی از شست و شوی اتمسفری بوده و در بخش تعیین منشا مورد بررسی قرار نگرفتند. مناطق شهری دارای غلظت بالایی از هیدروکربن‌های نفتی به ویژه هیدروکربن‌های آروماتیک هستند که به راحتی در آب باران حل شده و به آب‌های سطحی، خاک و نهایتا به آب زیرزمینی می‌رسند و باعث آلودگی آن می‌شوند.

۳-۱-۱- مقایسه مقادیر ترکیبات در نمونه‌ها با منابع آلاینده

برای تعیین منشاء آلودگی، مقایسه نمونه‌ها با سه منبع آلاینده در منطقه (مازوت، گازوئیل و روغن‌های سوخته) و همچنین مقایسه بین نمونه‌ها انجام شد. در بررسی به روش مقایسه، باید به این نکته توجه شود که غلظت آلاینده‌ها در منبع آلاینده همواره بیشتر از غلظت آن‌ها در چاه‌های آلوده است. با توجه به اینکه این آلاینده‌ها دارای ترکیبات سنگین و زنجیره‌های خطی از هیدروکربن‌ها می‌باشند، تحت تأثیر فرایندهای تجزیه توسط باکتری‌ها یا تجزیه شیمیایی قرار نمی‌گیرند. بنابراین، تنها جذب می‌تواند بر روی این پارامترها تأثیر بگذارد که آن هم تأثیر چندانی بر شکل منحنی "fingerprint" آلاینده نخواهد داشت و فقط می‌تواند مقادیر ترکیبات نفتی را تغییر دهد و بر روی حضور یا عدم حضور آلاینده‌ها در این نمودار بی‌تأثیر خواهد بود. بنابراین، می‌توان از این روش برای تعیین منشاء استفاده کرد.

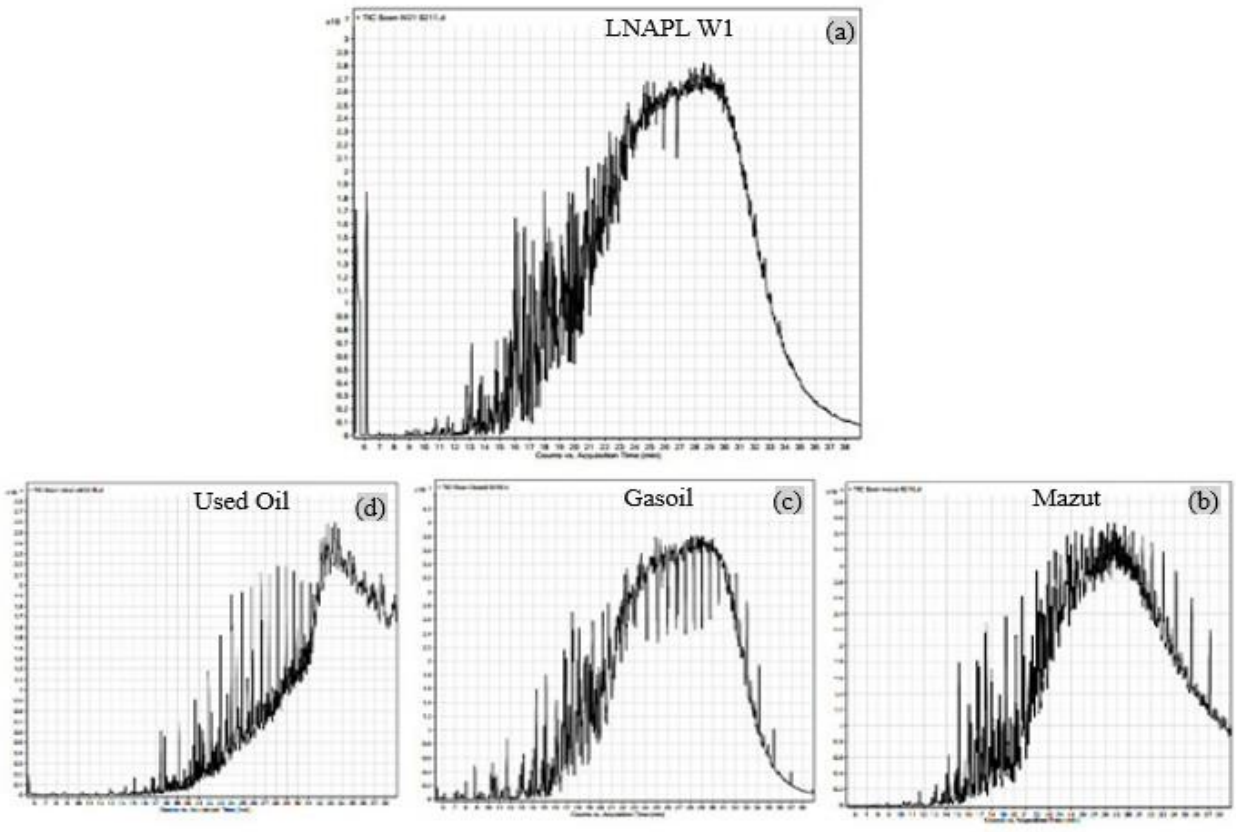
از نظر ترکیبات زایلن، چاه W12 (با غلظت زایلن ۰/۴۱۳ میلی‌گرم بر لیتر) از نظر مقادیر زایلن به نمونه‌ای از روغن‌های سوخته (با غلظت زایلن ۰/۵۵۴ میلی‌گرم بر لیتر) شباهت دارد. از نظر مقادیر PAH، چاه W12 (با مقدار PAH برابر با ۰/۲۱ میلی‌گرم بر لیتر) تشابهی با نمونه‌ای از مخازن مازوت (با مقدار PAH معادل ۰/۲۸۷ میلی‌گرم بر لیتر) دارد. همچنین چاه‌های W4 و BH5 (با مقادیر PAH به ترتیب ۰/۴۶۵ و ۰/۴۶ میلی‌گرم بر لیتر) نسبت به یکدیگر مشابهت نشان دادند. در بررسی مقادیر AH (Aliphatic Hydrocarbons)، چاه‌های BH5 و BH7 (با مقادیر AH به ترتیب ۰/۲۹۶۶ و ۰/۳۸۸۶ میلی‌گرم بر لیتر) مشابهت دارند. به‌طور کلی، به نظر می‌رسد چاه‌های W1، W4، W12، BH5 و BH7 منشاء یکسانی دارند و از مواد هیدروکربنی سنگین تشکیل شده‌اند. آلاینده موجود در چاه BH3 از مواد هیدروکربنی سبک تشکیل شده‌است.

۳-۱-۲- مقایسه کروماتوگرام‌های نمونه ها با منابع آلاینده

در روش دوم، برای مقایسه، کروماتوگرام‌های مربوط به Fingerprint منابع آلاینده با نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که کروماتوگرام چاه BH3 شبیه به گازوئیل است. همچنین، چاه‌های BH5 و BH7 ترکیبی از گازوئیل و روغن‌های سوخته و چاه BH8 ترکیبی از مازوت و گازوئیل را نشان می‌دهند. چاه W4 نیز به‌عنوان ترکیبی از مازوت و روغن‌های سوخته شناسایی شد، در حالی که چاه W12 شبیه به روغن‌های سوخته است و در نهایت، چاه W1 ترکیبی از گازوئیل و مازوت می‌باشد.

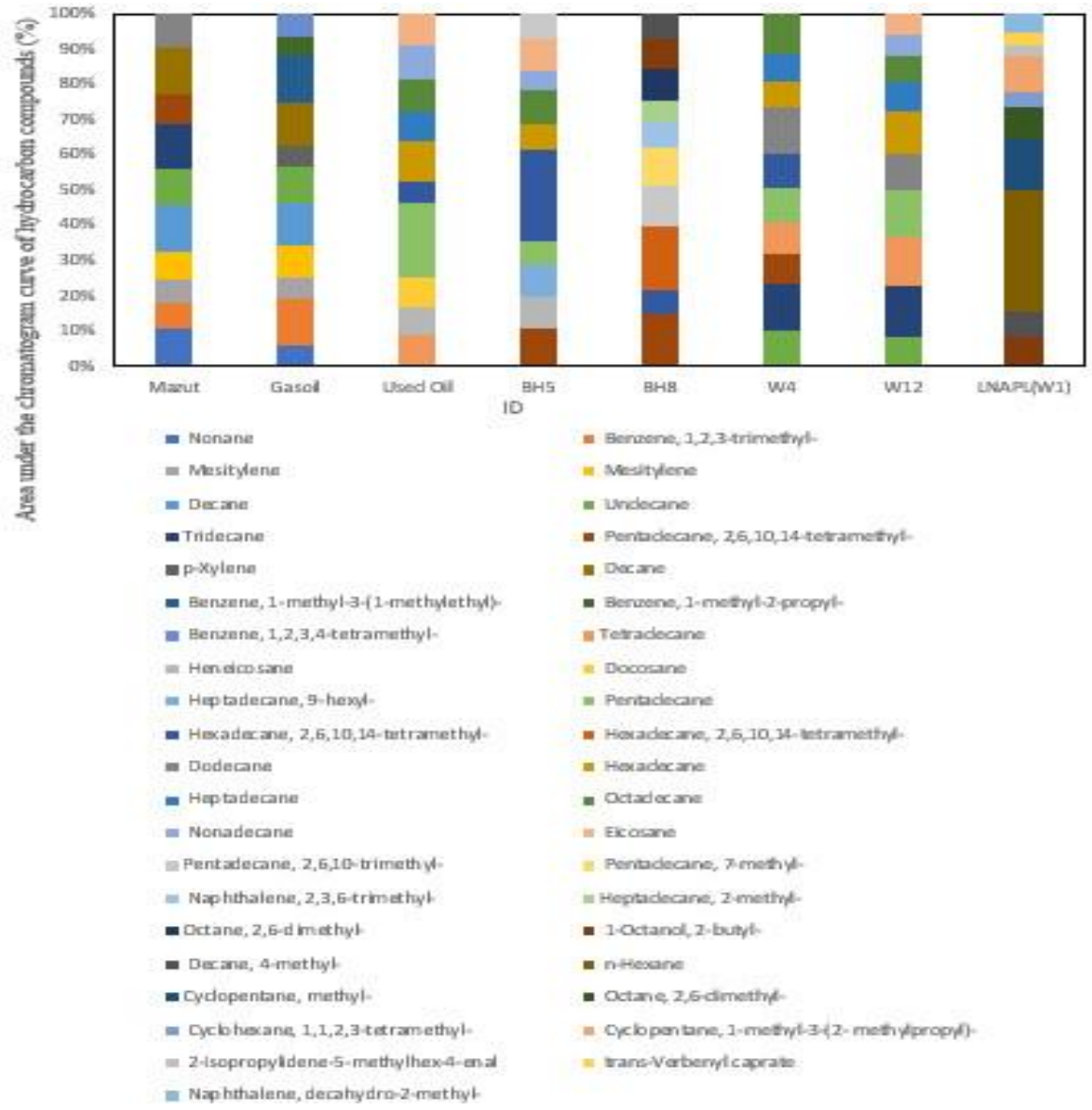
با این حال، به دلیل اینکه در نمونه‌های غلیظ مانند LNAPL، مقایسه کروماتوگرام‌ها نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد، نتایج مقایسه کروماتوگرام این نمونه با منابع آلاینده، در شکل ۸ آورده شده است. می‌توان نتیجه گرفت که کروماتوگرام LNAPL چاه W1 شباهت زیادی به کروماتوگرام‌های به‌دست‌آمده از آنالیز هر دو نمونه مازوت و گازوئیل دارد، که در این بین شباهت بیشتری به گازوئیل نشان می‌دهد.

با مقایسه مقادیر ترکیبات، نوع ترکیبات و گراف‌های مربوط به هر نمونه، منبع آلودگی هر یک از نمونه‌ها تعیین گردید. منشا آلودگی چاه‌های BH2، BH3 و BH9 یکسان بوده و به مخازن گازوئیل مربوط می‌شود. همچنین، چاه‌های W1، BH5 و BH8 نیز منبع آلودگی یکسانی دارند که به مخازن گازوئیل و مازوت مرتبط است. منبع آلودگی چاه BH7 از مخازن گازوئیل و روغن‌های سوخته ناشی می‌شود. چاه‌های W4 و W12 تقریباً یک منبع آلودگی مشابه دارند که شامل مخازن گازوئیل، مازوت و روغن‌های سوخته است. اطلاعات مربوط به این بررسی در جدول ۵ و اشکال ۱۰ تا ۱۳ ارائه شده است.



شکل ۸- کروماتوگرام‌های (a) LNAPL چاه W1 . (b) مازوت . (c) گازوئیل و (d) روغن سوخته.

Fig 8.(a) Chromatograms of: LNAPL from well W1 . (b) Mazut . (c) Diesel, and (d) Used oil.



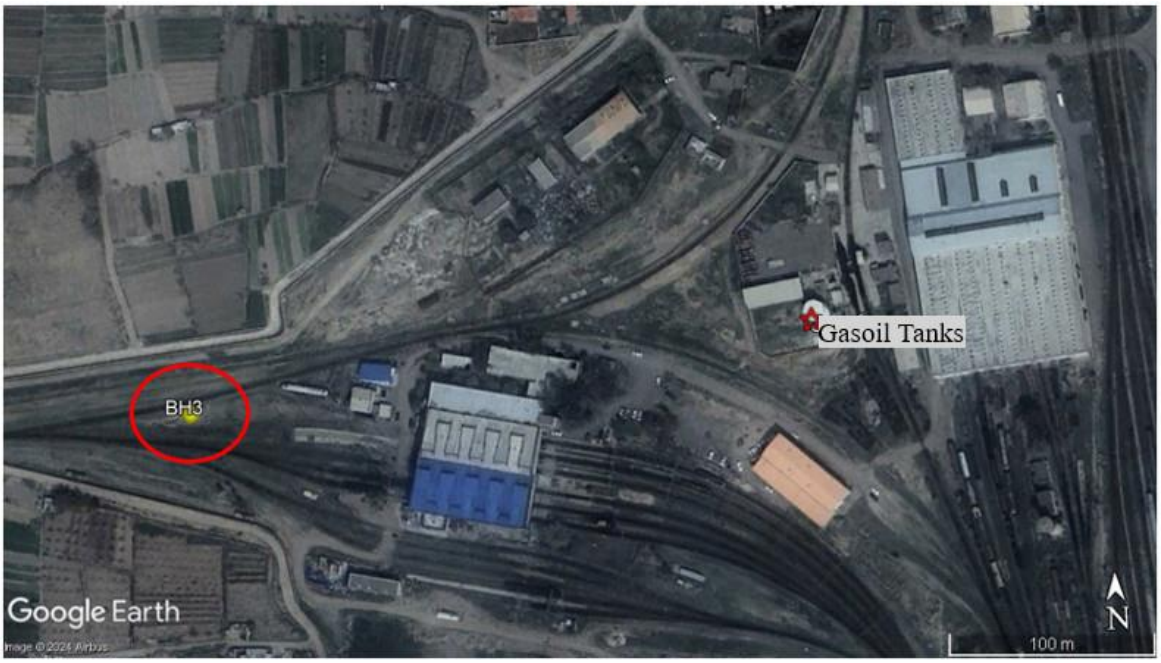
شکل ۹- مساحت زیر نمودار کروماتوگرام در برخی چاه‌ها و منابع آلاینده بر حسب درصد.

Fig 9. Area under the chromatogram curve for certain wells and pollution sources, expressed as a percentage.

جدول ۵- منشا نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه.

Table 5. Origin of groundwater samples in the study area.

Well ID	Pollution Source	Well ID	Pollution Source	Well ID	Pollution Source
W1	Gasoil-Mazut	BH3	Gasoil	BH8	Mazut-Gasoil
W4	Mazut-Used Oil	BH5	Gasoil-Mazut		
W12	Gasoil-Mazut-Used oil	BH7	Gasoil-Used Oil		



شکل ۱۰- چاهBH3 و منشا آلودگی آن.
Fig 10. Well BH3 and its pollution source



شکل ۱۱- چاه BH7 و منشا آلودگی آن.
Fig 11. Well BH7 and its pollution source.



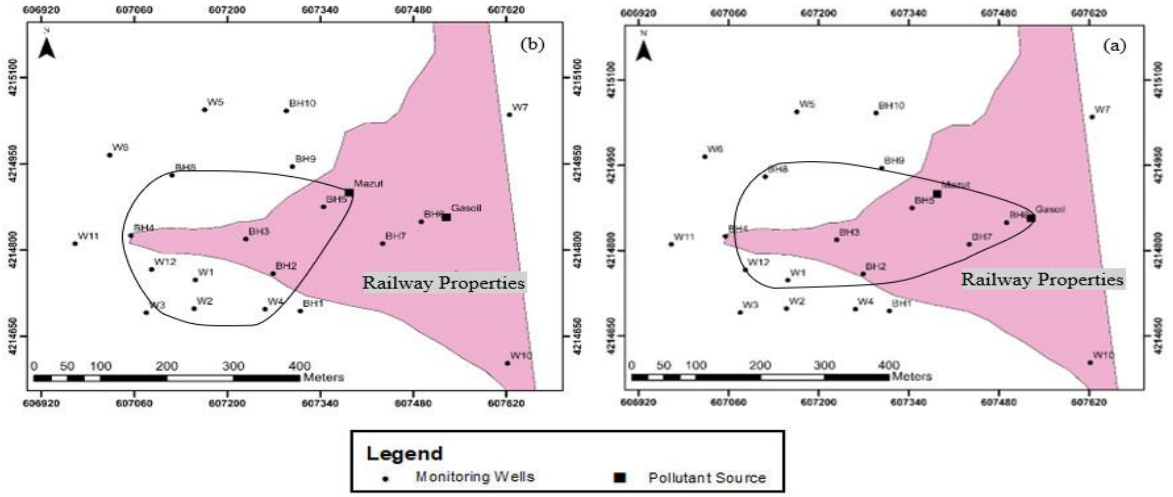
شکل ۱۲- چاه‌های هم منشا W1، BH5 و BH8 و منشا آلودگی آن‌ها.
Fig 12.Wells W1, BH5, and BH8 with same origin, and their pollution sources.



شکل ۱۳- چاه‌های هم منشا W4 و W12 و منشا آلودگی آن‌ها.

Fig 13. Wells W4 and W12 with same origin, and their pollution sources.

با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه و نتایج آنالیز هیدروکربنی نمونه‌ها، ابر آلودگی در منطقه مورد مطالعه از مخازن نشات گرفته است و با جهت غالب جریان آب زیرزمینی در منطقه، تا چاه های W1، W4، W12، BH3، BH5، BH7 و BH8 گسترش یافته است. مساحت پلوم آلودگی ناشی از مخازن مازوت و گازوئیل به ترتیب، ۷۱۷۰۲ و ۷۲۹۹۵ مترمربع می‌باشد. این بررسی به صورت شماتیک در شکل ۱۴ ارائه شده است.



شکل ۱۴- (a) نحوه حرکت و گسترش ابر آلودگی در محدوده مورد مطالعه نسبت به مخازن گازوئیل به عنوان منشا و (b) نسبت به مخازن مازوت به عنوان منشا.

Fig 14.(a) Movement and spread of the contamination plume in the study area: Relative to diesel storage tanks as the source, and (b) Relative to mazut storage tanks as the source.

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه، از مجموع ۲۲ نمونه برداشت شده برای آنالیز آلودگی آب زیرزمینی به مواد هیدروکربنی، ۱۰ حلقه چاه آلوده شناسایی شدند. از این تعداد، ۴ حلقه در داخل اراضی راه‌آهن و ۶ حلقه در خارج از آن قرار دارند. مقادیر غیرمجاز BTEXها در چاه BH3 (تولوئن با مقدار ۱/۸۴۶ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده شد. مقادیری از سایر ترکیبات BTEX، مانند تولوئن (چاه BH2 با مقدار ۰/۰۳ میلی گرم برلیتر) و مقادیری از زایلن (چاه‌های W8، W9 و W12 به ترتیب با مقادیر ۰/۰۱۲۲، ۰/۰۱۳۳ و ۰/۴۱۳ میلی گرم بر لیتر) نیز در برخی چاه‌ها مشاهده شد ولی مقادیر آن‌ها از حد مجاز استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران، بیشتر نبود. بیشترین مقادیر TPH و PAH ها به ترتیب در چاه خارج از اراضی راه‌آهن، W1 (۳۳/۷۹۴ و ۱/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) و در چاه داخل اراضی، BH5 (۰/۷۵۶۶ و ۰/۴۶ میلی‌گرم بر لیتر) ثبت گردید. با توجه به مقایسه کروماتوگرام‌های مربوط به FingerPrint، میزان و نوع ترکیبات هیدروکربنی در منابع آلاینده و نمونه‌ها، مشخص شد که منشا آلودگی چاه‌های W1، BH5 و BH8 ناشی از مخازن گازوئیل و مازوت بوده است. همچنین، چاه‌های W4 و W12 نیز دارای منشا آلودگی یکسان بوده و مقادیری از مازوت، گازوئیل و روغن‌های سوخته در آن‌ها وجود دارد. چاه BH3 دارای منشا آلودگی ناشی از مخازن گازوئیل است و در نهایت، آلودگی چاه BH7 ترکیبی از گازوئیل و روغن‌های سوخته می‌باشد. همچنین، ابرآلودگی ایجاد شده ناشی از آلاینده‌های گازوئیل، مازوت و دپوی مربوطه در حال گسترش به سمت غرب است و تا چاه‌های پایش BH3، BH5، BH7 و BH8 و همچنین چاه‌های کشاورزی W1، W4و W12 پیشرفت کرده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، به ویژه راه‌آهن منطقه آذربایجان، برای تامین بخشی از هزینه‌های این پروژه و در اختیار قرار دادن داده‌ها و اطلاعات، ابراز می‌دارد.

مراجع

Abbaspour, S., 2022. Identification of Oil Pollutants in the aquifer area of Abadan Oil Refinery and design of groundwater monitoring network. Master's Thesis. Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz.

Gad, S., Anderson, B., Wexler, P., Peyster, A., Hakkinen, P., Karmin, M., Locey, B., Mehendale, H., Pope, C., Shugart, L., 2005. Encyclopedia of Toxicology. 2st edition.

ISIRI 1053, 1388. Drinking water-physical and Chemical specification.5th revision. Institute of standard and industrial research, Iran 1053.

Heydari Kashl, S., Rahnoma Falavorjani, A., Chakoshian Khorasani, A., Mashregi, M., Ebrahimi, M., Yaghmaei, S., E'tedali, A., Nur Moradi, H., Soleimani, S., 2013. Evaluation of oil-degrading bacteria and their ability to remediate environmental pollution. Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences 21(5), 10-28.

Khodaei, K., Tabani, H., Shahsavari, A., Qureshi, H., Boosalik, Z., Rezazadeh, B., Mokhtari, M., 2021. Separation of oil pollution plumes of groundwater in the industrial area of South Tehran. Environmental and Water Resources Engineering 7(3), 477–493. https://doi.org/10.22034/JEWE.2021.259994.1475.

McCain, W., and Worth, F., 1990. The Properties of Petroleum Fluids.

Naseri, HR., Modabberi, S., Falsafi, F., 2011. Groundwater pollution caused by oil pollutants in the Rey Industrial Area (south of Tehran). Basic Sciences (Islamic Azad University) 21(81), 11-22.

Ogolo, N. A., Anih, OC., Onyekonwu, M. O., 2022. Sources and effects of environmental pollution from oil and gas industrial operations. Arabian Journal of Chemical and Environmental Research 9(01), 98-121. https://doi.org/10.5281/zenodo.7224406.

Stefanakis, AI., Zouzias, D., Marsellos, A., 2017. Groundwater pollution: Human and natural sources and risks. Environmental Science and Engineering 4.

Tabarmayeh, M., 2013. Investigation of the potential for intrinsic and specific pollution of the Tabriz Plain Aquifer. Master's Thesis, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz.

Vaezihir, A., Mohammadzadeh, M., Bakhtiari, Sh., Nematollahi, R., 2021. Identification of LNAPL phase of oil contaminants in the aquifer of Bandar Abbas Oil Refinery. Human and Environment 19(59), 141-158.

Vaezihir, A., and Tabarmayeh, M., 2015. Investigation on vulnerability of Tabriz-plain unconfined aquifer. Water and Soil 28(6), 1137-1151. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.30126.

Wang, F., Song, K., He, X., Peng, Y., Liu, D., Liu, J., 2021. Identification of Groundwater Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of a Landfill in a Low Permeability Area. International Journal of Environmental Research and Public Health 18(14), 7690. https://doi.org/10.3390/ijerph18147690. PMID: 34300140; PMCID: PMC8307002.

Wiłkomirski, B., Sudnik-Wójcikowska, B., Galera, H., Wierzbicka, M., Malawska, M., 2011. Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution. Water, Air, and Soil Pollution 218, 333-345. https://doi.org/10.1007/s11270-010-0645-0.