

بررسی آلودگی آب زیرزمینی محدوده پالایشگاه شازند به BTEX و MTBE

عبدالرضا واعظی هیر^{*۱}

vaezehir@yahoo.com

ساناز قبادیان^۲

علیرضا گل محمدی^۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۲۴

چکیده

زمینه و هدف: پالایشگاه شازند به عنوان بزرگ‌ترین واحد تولید بنزین در خاورمیانه در فاصله ۲۲ کیلومتری جنوب غربی اراک و در شمال شرقی دشت شازند قرار گرفته است. به دلیل وجود تأسیسات پالایشی، مخازن متعدد نگهداری نفت خام و فرآورده‌های نفتی، خطوط لوله انتقال فرآورده‌های نفتی مربوط به پالایشگاه شازند، احتمال نشت مواد آلاینده از مخازن و لوله‌ها به محیط خاک و آب زیرزمینی وجود دارد. آبخوان دشت شازند از نوع آزاد و متشکل از رسوبات آبرفتی دانه درشت بوده و جهت جریان از پالایشگاه به سمت چاه‌های کشاورزی، مرکز دشت می‌باشد. بنابراین، آلودگی آب زیرزمینی ناشی از آلاینده‌های نفتی پالایشگاه شازند مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: در این پژوهش، از ۱۶ حلقه چاه در منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری در خرداد ماه ۱۳۹۴ صورت گرفت و جهت تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه ارسال گردید. آزمایش ترکیبات BTEX و MTBE براساس روش گازکروماتوگرافی با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (GC-FID)^۴ انجام شد. جهت بررسی آلودگی منطقه مورد مطالعه، نتایج حاصل از آنالیز ترکیبات BTEX و MTBE با استانداردهای معتبر آب شرب و کشاورزی مقایسه گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان‌دهنده آلوده بودن ۶ حلقه چاه واقع در قسمت شرق و جنوب پالایشگاه و شرق و شمال شرقی پتروشیمی نسبت به ترکیبات BTEX و MTBE است. بخشی از آلودگی‌های موجود در آب زیرزمینی منشأ جوی داشته و از طریق نزولات جوی وارد آب زیرزمینی منطقه شده است و بخش دیگر مربوط به نشت از تأسیسات، مخازن و خطوط انتقال می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به آلودگی موجود در منطقه و آلودگی‌های احتمالی دیگر، پیشنهاد می‌شود پیش از هر اقدام برای پاک‌سازی، منشأ دقیق آلودگی شناسایی و با توجه به شرایط منطقه و نظرات کارشناسی روش مناسب جهت پاک‌سازی منطقه انتخاب گردد.

واژه‌های کلیدی: پالایشگاه شازند، آلودگی آب زیرزمینی، استاندارد آب شرب و آبیاری، BTEX، MTBE

۱ - عضو هیأت علمی گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲ - کارشناس ارشد آب‌شناسی، گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳ - رئیس محیط زیست پالایشگاه نفت امام خمینی شازند، اراک، ایران

The study of oil-contamination groundwater due to Shazand Refinery

Abodrrreza Vaezihir¹

vaezihir@yahoo.com

Sanaz Qobadian²

Alireza Golmohamadi^{3*}

Accepted: 2017.06.14

Received:2016.07.25

Abstract

Background and Purpose: Shazand oil refinery, as the biggest producer of gasoline in the Middle East, is located 22 km to the Southwest of Arak and the Northeast of Shazand plain. Due to presence of various storage tanks of crude oil and oil products, processing unites and conveyance lines of oil products, it is very possible the leakage of pollution from tanks and conveyance lines into the soil and groundwater. Shazand plain aquifer is an unconfined and consists of coarse-grained alluvial deposits with a flow direction from the refinery to the agriculture wells which are located at the center of plain. Hence, groundwater contamination, which was resulted from the oil pollution of Shazand refinery was investigated.

Material and Method: In this study, 16 wells were sampled in study area on Jun 2015 and they delivered to laboratory for analyzing. Compound BTEX and MTBE analyzed by gas chromatography with flame ionization detector (GC-FID³). To investigate contamination in study area, results of analyses of BTEX and MTBE were compared with valid standards of drinking and agriculture water.

Result: The results show that 6 wells are polluted at the East and South of refinery and the east and Northeast of petrochemical complex. A part of the groundwater contamination was due to atmospheric washout and the other part relates to leak from utilities, tanks and conveyance lines.

Discussion & Conclusion: Considering the already existing and the other possible forms of contamination in the area, it is proposed that before taking, the exact source of contamination be identified and proper measures to clean the area be chosen based on expert opinion.

Keywords: Shazand Refinery, Groundwater Contamination, Drinking Water and Irrigation Water Standard, BTEX, MTBE

1- Faculty member of Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Master of Hydrology, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Head of Environment of Imam Khomeini Shazand Oil Refinery, Arak, Iran Faculty member of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz

مقدمه

در بین صنایع آلاینده خطرناک، پتروشیمی و پالایشگاه‌ها به عنوان صنایع استراتژیک از یک طرف و از طرف دیگر به دلیل استفاده، فرآوری و پالایش مواد نفتی همواره یک تهدید بالقوه برای محیط‌زیست محسوب می‌شوند. زمانی که غلظت یک ماده در محیط فراتر از حد مجاز بهداشتی برسد، به آن ماده آلاینده^۱ گفته می‌شود. ورود آلاینده‌ها به محیط پیرامون مکان‌های صنعتی (پتروشیمی و پالایشگاه) از طریق نشت مخازن زیرزمینی و روزمینی، خطوط انتقال، حمل و نقل فرآورده‌های نفتی و ... صورت می‌گیرد. از میان مواد آلاینده، هیدروکربن‌های نفتی از مهم‌ترین آلاینده‌های آلی محیط‌زیست هستند که به دلیل سمی بودن، سرطان‌زایی و ایجاد تغییرات موتاژنتیکی (تغییرات جهش‌زایی)، وجود آن‌ها در طبیعت، نگرانی‌های بسیاری را سبب شده است (۱). مهم‌ترین قسمت آلاینده‌های نفتی، بخش محلول آنها از قبیل BTEX^۲ و افزودنی‌هایی مثل MTBE^۳ است که در آب زیرزمینی تشکیل ابر آلودگی^۴ را می‌دهند (۲). MTBE یک ماده آلی اکسیژن‌دار است که در نتیجه واکنش شیمیایی متانول^۵ و ایزوبوتان^۶ تولید می‌شود قابلیت انحلال MTBE نسبت به سایر ترکیبات بنزین بیش‌تر است و نسبت به بنزن تمایل کم‌تری به جذب توسط رسوبات و مقاومت بیش‌تری به تجزیه زیستی دارد [۳]. IARC این ماده را در گروهی که خاصیت سرطان‌زایی ندارد قرار داده است اما نوشیدن و استنشاق آن بیش از حد مجاز تعیین شده موجب تهوع، آسیب به کلیه و کبد و تأثیرات سوء بر سیستم عصبی می‌شود (۴). BTEX ترکیبات آروماتیکی هستند که شامل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و ایزومرهای زایلن (ارتوزایلن، متازایلن و پارازایلن) می‌باشند. همان‌طور که گفته شد، BTEX قابلیت

انحلال نسبتاً بالایی در آب داشته بطوری که بنزن، تولوئن، زایلن‌ها و اتیل بنزن به ترتیب بیش‌ترین تا کم‌ترین قابلیت حلالیت‌پذیری در آب را دارا می‌باشند. به علت تمایل جذب BTEX توسط رسوبات، سرعت حرکت آن‌ها در آب زیرزمینی کمتر از MTBE می‌باشد. از بین تشکیل‌دهنده‌های BTEX، تنها بنزن به عنوان ماده سرطان‌زا شناخته شده است (۵). نمونه‌ای از مطالعات صورت گرفته در این زمینه، بررسی آلودگی آب‌خوان اصفهان-برخوار توسط هیدروکربن‌های آلی فرار از قبیل ترکیبات BTEX ناشی از تأسیسات نفتی پالایشگاه و پتروشیمی اصفهان می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیزها نشان‌دهنده غلظت بالای آلاینده نفتی در دو منطقه بوده که ناشی از نشت مخازن زیرزمینی و روزمینی متعلق به شرکت پخش فرآورده-های نفتی و پالایشگاه نفت اصفهان و ۶ خط اصلی لوله زیرزمینی جهت انتقال بنزین و سایر فرآورده‌های پالایشی که مهم‌ترین منشأ آلودگی آب زیرزمینی می‌باشند (۶). همچنین آلودگی هیدروکربنی در محدوده آب‌خوان مجتمع پتروپالایشی تبریز مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده ۸ نمونه داخل پالایشگاه و ۱۸ نمونه پایین‌دست پالایشگاه و روستای کجاآباد غلظت برخی مواد هیدروکربنی بالا بوده که بیانگر آلوده بودن این نقاط می‌باشد (۷). در ارتباط با پالایشگاه آبادان گسترش و ضخامت نفت شناور بر روی آب‌های زیرزمینی ارزیابی شده است. نتایج نشان داد که مواد نفتی فقط در دو حلقه چاه که ناشی از فعالیت‌های اخیر پالایشگاه بوده مشاهده گردید و اغلب مواد نفتی پخش شده در زمان جنگ و بعد از آن جذب رس موجود در لایه‌های زیر سطحی شده‌اند (۸). همچنین گسترش آلاینده‌های آلی ناشی از پتروشیمی و پالایشگاه شازند را در دشت شازند مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش پارامتر PAHs در دو سری نمونه‌برداری مورد تجزیه و آنالیز قرار گرفت. در هر دو سری نمونه‌ها، این مقادیر در داخل پالایشگاه و پتروشیمی کمتر از مقادیر بیرونی می‌باشد که با توجه به جهت جریان آب زیرزمینی قابل توجیه است. در هر دو سری مقادیر غلظت، در چاه‌های خارج پالایشگاه و

۱ - Pollutant

۲ - Benzene Toluene Ethylbenzene Xylene

۳ - Methyl Tertiary Butyl Ether

۴ - Plume

۵ - Methanol

۶- Isobutanol

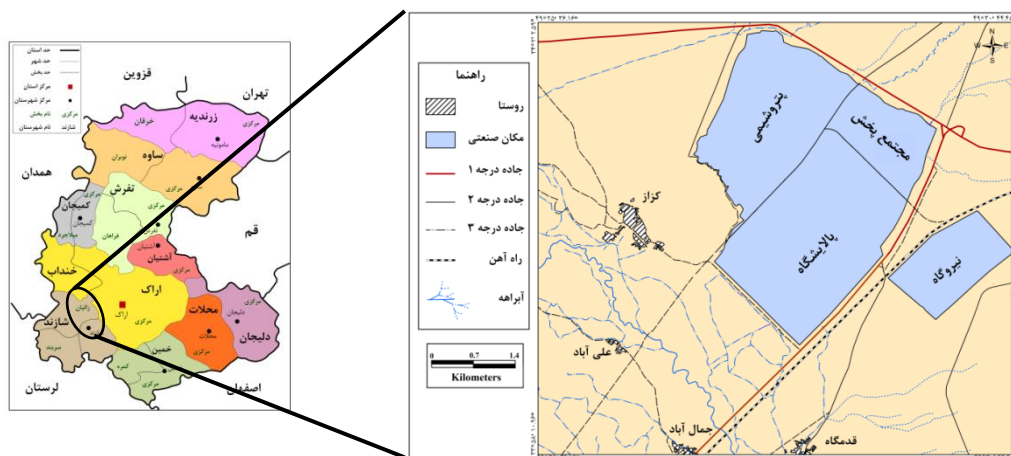
محدوده مجتمع بخش و پالایشگاه سازند، احتمال نشت مواد نفتی به محیط آب و خاک و آلودگی آن‌ها دور از انتظار نمی‌باشد. همچنین با توجه به این‌که، جهت جریان آب زیرزمینی به سمت اراضی کشاورزی کزاز و مرکز دشت می‌باشد در صورت بروز آلودگی، چاه‌های کشاورزی و آب شرب منطقه را در خطر جدی آلودگی قرار خواهند گرفت. از این رو، بررسی آلودگی نفتی منطقه مورد مطالعه ضروری است. هدف از این پژوهش بررسی آلودگی احتمالی آبخوان مجتمع بخش و پالایشگاه سازند توسط آلاینده‌های نفتی و مقایسه غلظت آلاینده‌ها با استانداردهای معتبر می‌باشد. چهار ترکیب BTEX و ماده MTBE به عنوان آلاینده‌های محلول و خطرناک نفتی به عنوان شاخص آلودگی آبخوان مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. همچنین، تعیین تقریبی منشأ آلاینده‌های آب زیرزمینی جز اهداف این پژوهش بوده است.

- منطقه مورد مطالعه

مجتمع بخش و پالایشگاه سازند با وسعت ۶ کیلومتر مربع در ۲۲ کیلومتری جنوب غربی استان مرکزی، شمال دشت سازند و در مسیر جاده ملایر-بروجرد واقع شده است (شکل ۱ / Fig. 1). ظرفیت این پالایشگاه در حال حاضر به ۲۵۰ هزار بشکه در روز رسیده است که با داشتن ۱۵ واحد پالایشی و ۵ واحد سرویس جانبی فرآورده‌هایی از قبیل بنزین، گازوئیل، قیر و آسفالت، پروپیلن، گاز مایع و... را تولید می‌کند.

پتروشیمی به دلیل فرایندهای پخش و انتقال با دور شدن از منبع در جهت جریان کاهش می‌یابد (۹). در منطقه ری مطالعه صورت گرفته نشان داد که غلظت ترکیبات آروماتیکی در مجاورت حوضچه‌ها تبخیر بالا بود و همچنین مخازن روزمینی و زیرزمینی مواد نفتی و آب‌شویی خاک‌های سطحی نیز از منابع طبیعی آلودگی آب زیرزمینی می‌باشد که باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها شده است (۱۰). پایش ترکیبات MTBE و BTEX در آب زیرزمینی کاتولینا (شمال شرقی اسپانیا) نشان داد که نسبت MTBE/BTEX بیش از ۲۵۰ بوده و غلظت MTBE در حدود ۲۰۰ برابر غلظت BTEX به دلیل قابلیت انحلال بالای MTBE نسبت به BTEX در منبع انتشار می‌باشد. همچنین، منبع اصلی آلودگی در منطقه، نشت ناشی از مخازن زیرزمینی در ایستگاه‌های سرویس‌دهی بنزین است (۱۱). بررسی آلودگی آب زیرزمینی و خاک بعد از بمباران NATO در محدوده پالایشگاه نفت NIS-Novi Sad با استفاده از روش ارزیابی خطرات (RBCA) بیان‌گر این موضوع است که مقدار بنزن نسبت به سایر ترکیبات BTEX در آب زیرزمینی و خاک بیشتر بوده، به طوری که محتوی بنزن در آب زیرزمینی ۳ تا ۳۰ برابر بیش‌تر از حداکثر غلظت مجاز تعیین شده می‌باشد. همچنین براساس نمونه‌برداری‌های صورت گرفته، ماده نفتی (احتمالاً بنزین) بر روی در قسمت غربی پالایشگاه و جنوب شرقی پالایشگاه نفت مشخص گردید (۱۲).

به دلیل حضور تأسیسات روزمینی و زیرزمینی متعدد در



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- The location of case study area

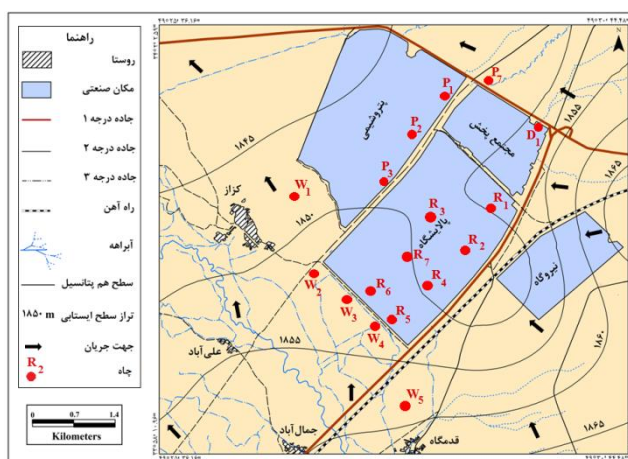
-هیدروژئولوژی

حوضه آبریز شازند از رسوبات آهکی و دولومیتی فراوانی که ارتفاعات و آبرفت‌های عهد حاضر و قدیمی که دشت را شامل می‌شوند تشکیل شده است. در بین سازندهای آهکی منطقه، K_{ol} حایز اهمیت است زیرا منابع آب کارستی این سازند نقش اصلی در تغذیه آب‌های زیرزمینی آبرفتی را بر عهده دارند. آبرفت‌های عهد حاضر از عناصر دانه درشت، دانه متوسط و درصد کمی سیلت تشکیل شده و دارای نفوذپذیری مناسبی نسبت به آبرفت‌های قدیمی می‌باشند. براساس آزمایش پمپاژ در دشت، ضریب قابلیت انتقال ۲۵۰۰ متر مربع در روز در مناطق مرکزی محاسبه شده که به سمت حاشیه دشت این مقدار به کم‌تر از ۵۰۰ متر مربع در روز رسیده و حداقل ۱۵۰ متر مربع در روز می‌باشد. همچنین، ضریب ذخیره متوسط دشت ۰/۵ برآورد شده است (۱۳). جهت ترسیم خطوط هم-پتانسیل و تعیین جهت جریان آب زیرزمینی از نرم‌افزار Arc GIS 10.2 و اطلاعات پیژومترهای موجود در دشت شازند (اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای آب استان مرکزی) استفاده شده است. براساس شکل ۲، جریان از جنوب شرق و جنوب به سمت شمال غرب (خروجی دشت) می‌باشد (از پالایشگاه و

مجتمع پخش به سمت پتروشیمی و روستای کزاز). بنابراین در صورت بروز آلودگی توسط پالایشگاه و پتروشیمی در منطقه، بیش‌ترین خطر متوجه روستای کزاز و زمین‌هایی است که در جهت جریان آب زیرزمینی قرار گرفته‌اند.

- نمونه‌برداری از چاه‌های بهره‌برداری

جهت بررسی آلودگی آبخوان منطقه توسط مواد نفتی از ۱۶ حلقه چاه شامل ۷ حلقه چاه داخل پالایشگاه [R₁, R₂, R₄], ۱ حلقه چاه داخل مجتمع پخش، ۳ حلقه چاه داخل پتروشیمی [P₃, P₂, P₁] و ۵ حلقه چاه محیط پیرامون پالایشگاه (همجوار با روستای کزاز) [W₅, W₄, W₃, W₂, W₁] نمونه‌برداری در خردادماه ۱۳۹۴ صورت گرفت (شکل ۲ / Fig. 2). از هر محل یک نمونه ۶۰ سی‌سی شیشه کدر نمونه برداشته شده و به منظور از بین بردن باکتری‌ها و جلوگیری از تجزیه بیولوژیکی مواد نفتی به هر نمونه ۰/۶ سی‌سی سدیم آزاید (NaN₃) اضافه گشته است. جهت اندازه‌گیری پارامترهایی از قبیل BTEX و MTBE نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال گردید و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.



شکل ۲- جهت جریان آب زیرزمینی (اردیبهشت ۱۳۹۲) در منطقه مورد مطالعه؛ موقعیت نقاط نمونه‌برداری برای آنالیز مواد نفتی (خرداد

(۱۳۹۴)

Fig. 2- Flow direction of groundwater in the area (April - May 2013); The location of sampling points for oil compound analysis (May 2015)

- روش آنالیز و آماده سازی نمونه ها

در این پژوهش، تعیین ترکیبات BTEX و MTBE از روش Gas Chromatography – Flame (GC-FID) (Ionization Detector) استفاده گردید. کروماتوگرافی گازی شامل فاز متحرک و ثابت است که فاز متحرک از میان فاز ثابت عبور می کند و در طی این عمل، اجزاء مختلف تشکیل دهنده نمونه براساس انحلال پذیری متفاوت در این فاز مشخص می شوند. آشکارساز یوانیزاسیون شعله ای (FID) یک ابزار علمی که غلظت گونه های آلی را در جریان گاز اندازه گیری می کند. در فرایند استخراج توسط فضای فوقانی روش کار بدین گونه است که مقدار ۵ میلی لیتر از نمونه به همراه ۰/۵ گرم سدیم کلراید در یک ویال کرپ می شود و به مدت ۳۰ دقیقه در

آون در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شده تا ظرف حاوی نمونه گرم و اجازه داده می شود تا ترکیبات آلی فرار بخار شوند و به فضای فوقانی ظرف منتقل شوند. سپس بین بخار موجود در بخش فوقانی ظرف و نمونه آبی تعادل برقرار می شود و قسمتی از بخار توسط سرنگ Gastight کشیده شده و برای تزریق به دستگاه GC تزریق می گردد. در این پژوهش از دستگاه گاز کروماتوگراف YL-6500 استفاده شده است.

بحث و نتایج

نتایج حاصل از آنالیز نمونه ها براساس اجزای تشکیل دهنده BTEX و MTBE در جدول ۱ / Table 1، برای نمونه های آب زیرزمینی نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج آنالیز مواد نفتی آب زیرزمینی (خرداد ۱۳۹۴)

Table 1- Groundwater analysis results of oil compound (May 2015)

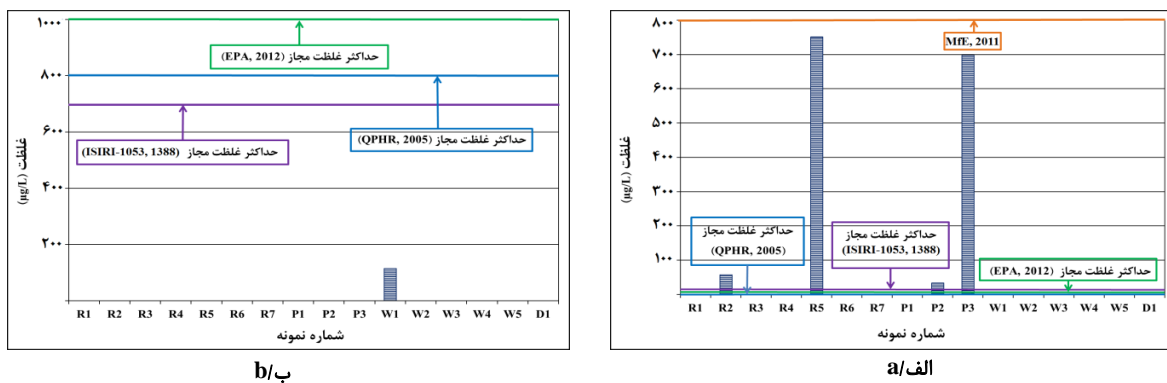
o-xylene (µg/L)	m-xylene (µg/L)	p-xylene (µg/L)	Ethylbenzene (µg/L)	Toluene (µg/L)	Benzene (µg/L)	MTBE (µg/L*)	غلظت ترکیبات
							شماره نمونه
۱۰۰۶	ND	ND	ND	ND	ND	ND**	R1
۱۱۲/۷۹	۱۲۳/۸۸	ND	ND	ND	۵۸	ND	R2
۷۰۰	۷۹۶	۷۶۶	ND	ND	ND	ND	R3
۴۸۳	ND	ND	ND	ND	ND	۵	R4
ND	ND	ND	ND	ND	۷۵۱	ND	R5
ND	۱۴۳/۷	۲۳۸/۴	ND	ND	ND	ND	R6
ND	ND	۱۰۳/۷۵	۳۴۳/۷	ND	ND	ND	R7
۱۷۷/۸۴	۵۲/۶۸	۳۲۵/۷۵	ND	ND	ND	ND	P1
۸۸۳/۹۴	ND	۲۰۸/۱۶	۳۴۱/۷۷	ND	۳۳/۷۹	ND	P2
۵۶۶	ND	ND	ND	ND	۶۹۸	ND	P3
۳۱۵	ND	ND	ND	۱۱۵	ND	۲	W1
۱۲۹۱	ND	۱۰۱	ND	ND	ND	۷	W2
۱۴۵/۴۳	۸۲/۶۴	۵۲۲/۰۶	ND	ND	ND	۲	W3
ND	ND	ND	ND	ND	ND	۱۱۲	W4
۶۷۳	ND	ND	ND	ND	ND	ND	W5
۵۸۵	ND	ND	ND	ND	ND	ND	D1

*1 µg/l = 0.001 mg/l

**ND = Not Detected

ISIRI-1053 و QPHR به ترتیب ۱۰۰۰، ۷۰۰ و $\mu\text{g/L}$ ۸۰۰ تعیین گردیده است (۴، ۱۴، ۱۵). علاوه بر این، حداکثر غلظت مجاز تولوئن در آب آبیاری را 39 mg/L برآورد شده است (۱۶). در تمام نمونه‌ها براساس استانداردهای فوق، غلظت تولوئن کم‌تر از حداکثر غلظت مجاز کم‌تر از حد مجاز تعیین شده است. علت کم بودن غلظت تولوئن نسبت سایر ترکیبات آروماتیک در نمونه‌ها می‌تواند به قابلیت تجزیه زیستی بالای این ترکیب مربوط باشد. در شرایط هوایی تولوئن قبل از سایر ترکیبات آروماتیک توسط باکتری‌ها تجزیه شده و غلظت پایین آن در آب زیرزمینی قابل انتظار می‌باشد (شکل ۳-ب / Fig. 3-b).

حداکثر غلظت مجاز بنزن در آب شرب توسط EPA^۱ ISIRI^۲-1053 و QPHR^۳ به ترتیب ۵، ۱۰ و $1 \mu\text{g/L}$ تعیین شده است (۴، ۱۴، ۱۵). همچنین، حداکثر غلظت مجاز این ماده در آب آبیاری $800 \mu\text{g/L}$ می‌باشد (۱۶). در چهار نمونه R2 (شرق پالایشگاه)، R5 (جنوب پالایشگاه)، P2 و P3 (شرق پتروشیمی) غلظت این ماده بیش از حد مجاز تعیین شده توسط استانداردهای آب شرب بوده و این مناطق نسبت به بنزن آلوده می‌باشند در حالی که به دلیل پایین بودن غلظت بنزن در نمونه‌ها نسبت به استاندارد آب آبیاری، این آب‌ها مناسب برای مصارف کشاورزی می‌باشند (شکل ۳-الف / Fig. 3-a). حداکثر غلظت مجاز تولوئن در آب شرب EPA،



شکل ۳-الف) غلظت بنزن در نمونه‌های آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده نسبت به استانداردهای آب شرب و استاندارد آب آبیاری؛ ب) غلظت تولوئن در نمونه‌های آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده نسبت به استانداردهای آب شرب

Fig. 3- a) The concentration of benzene in the groundwater samples, compared against drinking water and irrigation water standards; b) The concentration of toluene in the groundwater samples, compared against drinking water standards

QPHR، اغلب نمونه‌ها از قبیل R1 (شرق پالایشگاه)، R3 (غرب پالایشگاه)، D1 (شمال مجتمع پخش)، P2 و P3 (شرق پتروشیمی) و W2، W3 و W5 (پیرامون پالایشگاه) نسبت به این ترکیب آلوده می‌باشند. این در حالی است که، براساس استاندارد تعیین شده برای آب آبیاری، آب زیرزمینی مناسب برای این قبیل مصارف می‌باشد (شکل ۴-ب / Fig. 4-b). حداکثر غلظت مجاز تعیین شده اتیل‌بنزن در آب شرب توسط EPA، ISIRI-1053 و QPHR به ترتیب ۷۰۰، ۳۰۰ و

حداکثر غلظت مجاز زایلن در آب شرب ۵۰۰، ۱۰۰۰ و $600 \mu\text{g/L}$ به ترتیب توسط EPA، ISIRI-1053 و QPHR تعیین شده است (۴، ۱۴، ۱۵). حداکثر غلظت این ماده در آب آبیاری را 31 mg/L می‌باشد (۱۶). مطابق شکل ۴-الف / Fig. 4-a، تمامی نمونه‌ها براساس حد مجاز تعیین شده توسط EPA، عاری از هر گونه آلودگی نسبت به زایلن بوده و از این رو مناسب برای شرب می‌باشند در حالی که با توجه به استاندارد تعیین شده توسط ISIRI-1053 و

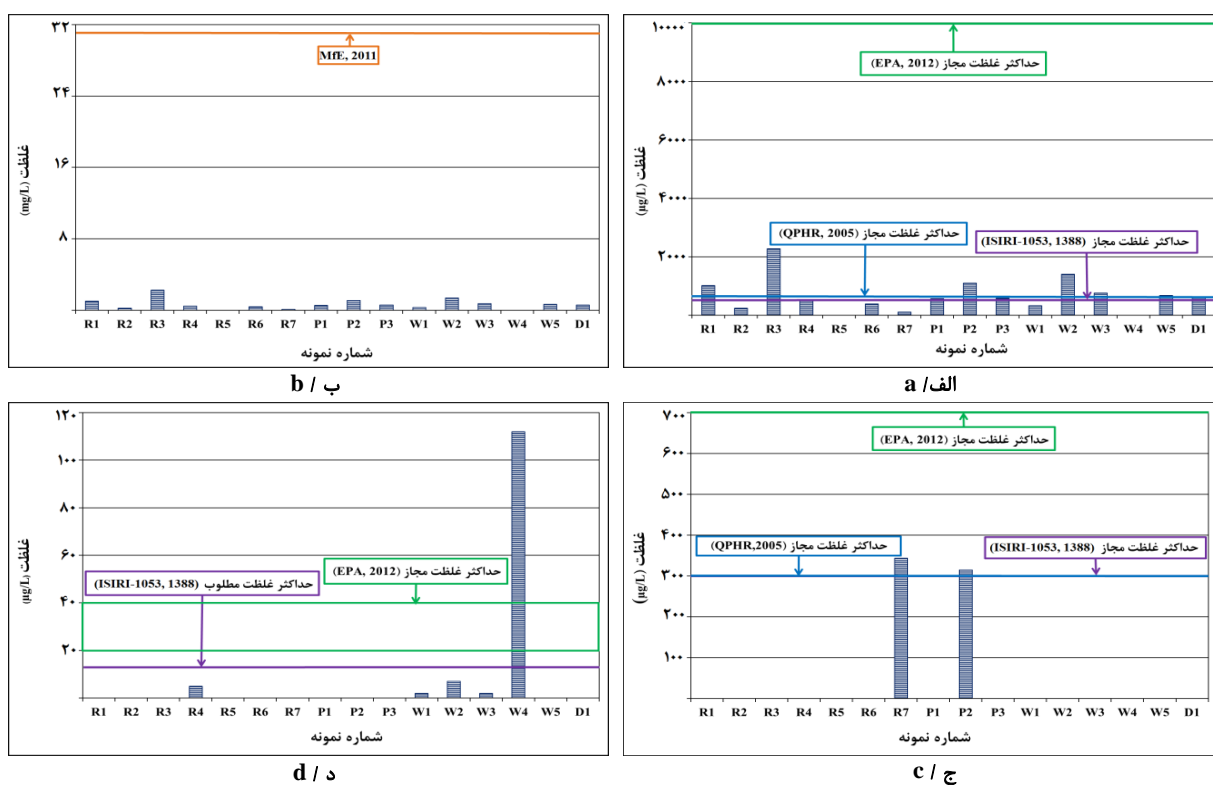
۱ - Environment Protection Agency

2- Institute of Standard and Industrial Research of Iran

3- Queensland Public Health Regulation

مناسب برای آبیاری است زیرا غلظت اتیل بنزن در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد مجاز تعیین شده می‌باشد. EPA حداکثر غلظت مجاز MTBE را $40-20 \mu\text{g/L}$ و ISIRI-1053 حداکثر غلظت مطلوب آن را $15 \mu\text{g/L}$ تعیین کرده‌اند (۴، ۱۵). مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده MTBE با دو استاندارد فوق‌الذکر نشان‌دهنده عدم آلودگی تمام نمونه‌ها نسبت به MTBE می‌باشد بجز نمونه W4 (منطقه پیرامونی جنوب پالایشگاه) که در آن غلظت این ترکیب بیش از مقدار تعیین شده است (شکل ۴-د/د-4 Fig).

$300 \mu\text{g/L}$ می‌باشد (۴، ۱۴، ۱۵). همچنین حداکثر غلظت مجاز این ماده در آب آبیاری ۱۸ ppm تعیین شده است (۱۶). براساس شکل ۴-ج / Fig. 4-c، دو نمونه R7 (مرکز پالایشگاه نزدیک حوضچه‌های تبخیر) و P3 (شرق پتروشیمی) با توجه به استاندارد ISIRI-1053 و QPHR نسبت به اتیل بنزن آلوده می‌باشند و مناسب برای شرب نمی‌باشند در حالی که مطابق با استاندارد EPA غلظت این ماده، در تمام نمونه‌ها کم‌تر از حد مجاز تعیین شده بوده و نشان‌دهنده مناسب بودن آب زیرزمینی برای شرب می‌باشد. همچنین، آب زیرزمینی



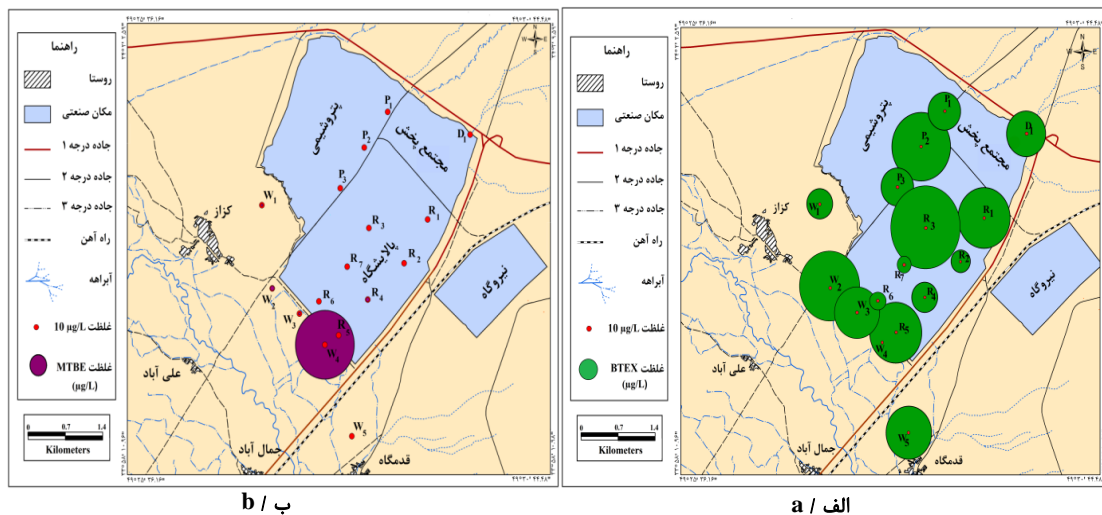
۴-الف) غلظت زایلین در نمونه‌های آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده نسبت به استانداردهای آب شرب؛ ب) غلظت زایلین در نمونه‌های آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده نسبت به استانداردهای آب آبیاری؛ ج) غلظت اتیل بنزن در نمونه‌های آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده نسبت به استانداردهای آب شرب؛ د) غلظت MTBE در نمونه‌های آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده نسبت به استانداردهای آب شرب

Fig. 4- a) The concentration of xylene in the groundwater samples, compared against drinking water standards; b) The concentration of xylene in the groundwater samples, compared against irrigation water standards; c) The concentration of ethylbenzene in the groundwater samples, compared against drinking standards; d) The concentration of MTBE in the groundwater samples, compared against drinking water standards

بررسی تغییرات مکانی غلظت آلاینده‌ها

جهت جریان به این دلیل می‌باشد که پالایشگاه سازند، یک پالایشگاه جوان بوده و طبیعی است که نشت‌های اتفاق افتاده در آن در سال‌های اخیر افتاده است. بنابراین، الگوی گسترش آلاینده هنوز تحت تأثیر جریان آب زیرزمینی شکل نگرفته است. به عبارت دیگر گسترش آلاینده در آبخوان هنوز محدود بوده و ناشی از نشت‌های نقطه‌ای در پالایشگاه می‌باشد. بدیهی است با گسترش بیشتر آلاینده‌ها در جهت جریان میزان غلظت در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش خواهد یافت. با توجه به شکل ۵-ب / Fig. 5-b، بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت MTBE مربوط به نمونه W4 (۱۱۲ $\mu\text{g/L}$) و مربوط به دو نمونه W1 و W3 (۲ $\mu\text{g/L}$) (پیرامون پالایشگاه) است. مقدار کم MTBE موجود در چاه‌های پیرامونی پالایشگاه می‌تواند ناشی از باران حاوی این ترکیب در منطقه باشد. بخشی از آلودگی نمونه W4 (جنوب پالایشگاه) نسبت به این ماده، احتمالاً مربوط به انتقال از طریق نزولات جوی و بخشی ناشی از نشت از تأسیسات و مخازن پالایشگاه می‌باشد.

از میان نمونه‌های برداشته شده از منطقه، در دو نمونه P2 و P3 (شرق پتروشیمی) غلظت بنزن به ترتیب ۳۳/۷ و $\mu\text{g/L}$ ۶۹۸ بوده که حضور این ماده در این دو نمونه می‌تواند به نشت احتمالی از خط لوله انتقال نفتا از پالایشگاه به پتروشیمی باشد. همچنین، غلظت بنزن در دو نمونه R5 و R2 به ترتیب ۷۵۱ و $\mu\text{g/L}$ ۵۸ اندازه‌گیری شده است که به دلیل نزدیکی به مخازن فراورده‌های نفتی و مخزن با سابقه نشتی قابل توجیه می‌باشد. علاوه بر این، غلظت بنزن در تمام نمونه‌های متعلق به محیط پیرامونی پالایشگاه کم بوده و ناشی از انتقال از جو توسط نزولات جوی می‌باشد. براساس نقشه غلظت BTEX بیشترین غلظت مربوط به نمونه R3 (۲۲۶۲ $\mu\text{g/L}$) و کم‌ترین غلظت مربوط به نمونه R7 (۱۰۳/۷ $\mu\text{g/L}$) اندازه‌گیری شده است (W4 مقدار BTEX تشخیص داده نشده است). با توجه به نتایج فوق و شکل ۵-الف / FIG. 5-a، می‌توان بیان کرد که غلظت این ترکیب در غرب و جنوب پالایشگاه و شرق پتروشیمی بیش‌تر از سایر نقاط است. عدم تغییرات BTEX با



شکل ۵-الف) نمودار دایره‌ای غلظت BTEX برای نمونه‌های آب زیرزمینی؛ ب) نمودار دایره‌ای غلظت MTBE برای نمونه‌های آب زیرزمینی

Fig. 5- b) Pie diagram of BTEX concentration for groundwater samples; b) Pie diagram of MTBE concentration for groundwater samples

استاندارد EPA و ISIRS-1053 جنوب پالایشگاه نسبت به MTBE آلوده است. به طور کلی می توان بیان کرد که قسمت شرق و جنوب پالایشگاه و شرق و شمال شرقی پتروشیمی آلودگی نسبت به ترکیبات BTEX و MTBE محرز است که با توجه به حضور تأسیسات متعدد پالایشی، مخازن و خطوط انتقال فرآورده های نفتی قابل انتظار می باشد. بنابراین، پیشنهاد می شود جهت حفاظت از محیط زیست اقدامات لازم برای پاک سازی آلودگی، حتی آلودگی به مقدار کم صورت گیرد تا از گسترش بیش تر آن جلوگیری شود که قبل از آن لازم است منشأ و نوع آلاینده شناسایی و با توجه به شرایط منطقه و نظرات کارشناسی روش مناسب جهت پاک سازی منطقه انتخاب گردد. در راستای بررسی پتانسیل زیست پالایی آبخوان دشت شازند مقاله ای با همین عنوان در مجله علوم محیطی در دست داوری می باشد. براساس آن، به طور کلی از نظر مقادیر pH، EC و DO شرایط جهت تجزیه زیستی آلاینده ها مناسب بوده ولی از نظر مقدار متوسط دما، غلظت نیترات، نسبت نیترات به فسفات شرایط بهینه وجود ندارد. بنابراین به منظور پاک سازی آلاینده ها از آبخوان پاک سازی طبیعی کافی نبوده و نیاز به پاک سازی تهاجمی خواهد بود.

منابع

1. Cupers C., Pancras T., Grotenhuis T., Rulkens W., 2002. The estimation of PAH bioavailability in contaminated sediments using hydroxypropyl-b-cyclodextrin and triton x-100 extraction techniques. Chemosphere, Vol. 46, pp. 1235-1245.
2. Fels, J., 1999. Source-identification investigations of petroleum contaminated groundwater in the Missouri Ozarks. Engineering Geology, Vol, 52, pp. 3-13.
3. EPA, 1998. Remediation of MTBE contaminated soil and groundwater. Environmental Protection Agency: EPA 510-F-97-015.

همچنین با توجه به اطلاعات اخذ شده از سازمان محیط زیست استان مرکزی، نتایج آنالیز چاه P7 واقع در شمال شرقی پتروشیمی (شکل ۲) و مقایسه آن با استاندارد EPA نشان دهنده آلوده بودن این چاه می باشد. این چاه در حقیقت آلوده ترین چاه منطقه بوده و منجر به بروز تنش های اجتماعی در منطقه شده است. در نهایت با توجه به مقایسه نتایج آنالیز با سه استاندارد فوق الذکر، مناطق آلوده عمدتاً در قسمت شرق و جنوب پالایشگاه و شرق و شمال شرقی پتروشیمی که با توجه به نزدیکی این مناطق به مخازن نفت خام و فرآورده های نفتی و خطوط انتقال فرآورده های نفتی، حضور این گونه آلاینده ها در این مناطق دور از انتظار نیست. بنابراین، در صورتی که اقدامات لازم جهت پاک سازی و رفع آلودگی محیط اعمال نشود آبخوان منطقه واقع در بخش مرکزی و شمال غربی منطقه مورد مطالعه در خطر آلودگی قرار خواهد گرفت.

نتیجه گیری

بررسی آب زیرزمینی نشان داد که شرق و جنوب پالایشگاه و شرق پتروشیمی براساس هر سه استاندارد آب شرب نسبت به بنزن آلوده و نامناسب برای شرب می باشند در حالی که مطابق با استاندارد آب آبیاری تمامی نمونه ها عاری از هر گونه آلودگی نسبت به این ماده می باشند [۴، ۱۴، ۱۵، ۱۶]. به علت قابلیت تجزیه زیستی بالای تولوئن نسبت به سایر ترکیبات آلی در شرایط هوازی، غلظت این ترکیب در هیچ از نمونه ها بیش از حد مجاز تعیین شده نیست و این آبها مناسب برای شرب و کشاورزی می باشند. همچنین غلظت اتیل بنزن مربوط به نمونه های واقع در مجاورت حوضچه های تبخیر و شرق پتروشیمی بیش از حد تعیین شده توسط ISIRI-1053 و QPHR می باشد در حالی براساس استاندارد EPA و ANZECC هیچ یک از نمونه ها، آلوده به این ترکیب نبوده و مناسب برای مصارف کشاورزی و شرب می باشند. مقایسه غلظت زایلن نمونه ها نشان می دهد که اکثر نمونه ها با توجه به دو استاندارد ISIRI 1053 و QPHR نسبت به این ماده آلوده می باشند در حالی که غلظت این ماده در تمامی نمونه ها کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط EPA و آب آبیاری است. مطابق

- 1st Iranian Petrochemical Conference, Tehran, Iran [In Persian].
10. Naseri, H., Modaberi, S., Falsafi, F., 2009. Groundwater contamination due to oil pollutants at industrial area, Shar-e-Rey, South of Tehran, Tehran, Iran. 2nd Conference of Environmental Engineering, Tehran, Iran [In Persian].
 11. Fraile, J., Ninerola, M. J., Olivella, L., Figueras, M., Ginebreda, A., Vilanova, M., 2002. Monitoring of the Gasoline Oxygenate MTBE and BTEX Compounds in Groundwater in Catalonia (Northeast Spain). The Scientific World, Vol. 2, pp. 1235-1242.
 12. 13- Ministry of Energy of Iran, 2010. The report of prohibition renewal in Shazand area. Water resources office, groundwater group, water organization of Arak, Arak, Iran [In Persian].
 13. Sokolovic, S., Pavlovic, p., Pavlovic, M., 2000. Risk Assessment of the NIS NOVISAD Oil Refinery Site After NATO Bombing. IUAPPA Praha, Sec. A, pp.72-76.
 14. QPHR, 2005. Queensland Public Health Regulations. Queensland Government, Brisbane, Australia.
 15. ISIRSI-1053, 1388. Drinking Water-Physical and Chemical Specification, Institute of Standard and Industrial Research Iran 1053, 5th revision.ICS:13.060.020.
 16. MfE, 2011. Guideline for Assessing and Managing Petroleum Hydrocarbon Contamination Sites in New Zealand. Ministry for the Environment (New Zealand).
 4. EPA, 2012. Drinking Water Standards and Health Advisories. Washington, DC: The Office of Water U.S. Environmental Protection Agency, see more information in: <https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/drinking-water-contaminant-human-health-effects-information>
 5. ATSDR, 2007. Toxicological profile for benzene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, see information in: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=40&tid=14>
 6. Pakrvan, Sh., Saeb, K., Ghysari, M. M., 2014. Study of spreading oil pollutants from Isfahan oil refinery and petrochemical facilities to groundwater. The 7th Conference & Exhibition on Environmental Engineering, Tehran, Iran [In Persian].
 7. Safari, F., Vaezihir, A. R., Kalejahi, A., 2015. Determination of hydrocarbon contamination and study of biodegradation in the aquifer at Tabriz oil refinery and petrochemical complex site. Advanced Applied Geology, Vol. 5., pp. 48-58.
 8. Shadizadeh, R., Zavidanpur, M., 2008. The investigation and estimation of amount of oil in groundwater at Abadan oil refinery complex. Water and Wastewater, Vol. 2, pp. 27-36 [In Persian].
 9. Feyzi, M., Sartaj, M., Fathiyani, N., 2007. The investigation of spreading oil pollutants from Shazand petrochemical and oil refinery facilities to groundwater, Arak, Iran.