

تعیین میزان گسترش ترکیبات نفتی آروماتیک ناشی از نشت بنزین در شمال دشت شازند و نقش مخروط افت چاه‌های بهره‌برداری در گسترش آلودگی

فاطمه زاهد

دانش آموخته کارشناسی ارشد، هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

عبدالرضا واعظی هیر*

دکتری هیدروژئولوژی، عضو هیئت علمی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

زینب احمد نژاد

دکتری هیدروژئولوژی، کارشناس آزمایشگاه زمین‌شناسی، دانشگاه لرستان، ایران

*r.vaezi@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵

چکیده

امروزه آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی به ویژه آلودگی نفتی ناشی از پتروشیمی و پالایشگاه‌ها که پتانسیل نشت آلودگی بالایی دارند یکی از دغدغه‌های اصلی بشر می‌باشد. در پژوهش حاضر، قسمت‌های شمالی دشت شازند، توابع استان اراک، که محدوده‌ای با مراکز صنعتی متراکم می‌باشد به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است تا آلودگی نفتی ناشی از نشت بنزین در امتداد خط لوله ۱۲ اینچی ملایر-همدان که در بالادست چاه شماره ۷ دشت شازند قرار دارد، مورد بررسی قرار گیرد. پس از قطع نشت آلودگی به منظور تعیین وضعیت آلودگی در منطقه، نقاطی جهت حفر چاه پایش در جهت جریان انتخاب گردید و پس از حفاری چاه‌های پایش، اقدام به نمونه‌برداری در طی دو مرحله (مرداد و اسفند ۱۳۹۹) گردید. نتایج آنالیز نمونه‌ها، نشان داد که آلودگی از نوع بنزین می‌باشد. همچنین نبود آلودگی در برخی از چاه‌های پایش حاکی از آن بود که آلودگی گسترش چندانی نداشته است و ابر آلودگی به ترتیب در چاه‌های پایش MW4، PB3، MW6، MW5 با غلظت‌های ۷/۱۲۱، ۷/۳۸۲، ۱/۰۴۶، ۲۵۷ میکروگرم بر لیتر و در چاه شماره ۷ با غلظت ۸/۲۶۰ میکروگرم بر لیتر گسترش پیدا کرده است. در واقع ابر آلودگی در طی مدت نشت به سمت پایین دست دشت، در حدود ۱۰ هکتار پیشروی کرده است ولی مخروط افت ایجاد شده در نتیجه برداشت زیاد برای مصارف صنعتی مانع از گسترش زیاد آلودگی در این منطقه گردیده است. با توجه به تاثیر ضریب ذخیره و عمق آب زیرزمینی، این آلودگی در حدود ۳۶۵ هزار مترمکعب از آبخوان را دربرگرفته است.

واژه‌های کلیدی: ابر آلودگی، آب‌های زیرزمینی، دشت شازند، مخروط افت، نشت بنزین

۱- مقدمه

در جهان امروز، بشر آلودگی‌های مختلفی را برای محیط زیست ایجاد کرده است که در رأس آن مسائل مربوط به آلودگی منابع آب مشکلات زیادی را به وجود آورده است. به طوریکه امروزه یکی از مشکلات و چالش‌های مهم دنیا و ایران شده است. آب-های زیرزمینی فقط چهار درصد از ذخایر آب جهان را به خود اختصاص داده‌اند و استفاده از آن در مصارف مختلف شهری، کشاورزی و صنعتی رو به افزایش است. این آب‌ها که یکی از مهم‌ترین منابع آب مصرفی در جهان می‌باشد؛ همانند آب‌های سطحی در معرض آلاینده‌های مختلف قرار دارند. زمانی که

غلظت یک ماده در محیط فراتر از حد مجاز بهداشتی برسد به آن ماده آلاینده گفته می‌شود. ورود آلاینده‌ها به محیط پیرامون مکان‌های صنعتی از طریق دو عامل مهم نشت تصادفی نفت، ذخیره سازی و فعالیت‌های پالایش نفت رخ می‌دهد (Li et al., 2014). یکی از علل نشت مخازن و خطوط لوله را نیز می‌توان در اثر خوردگی و پوسیدگی جداره‌های فولادی آن‌ها توسط برخی ترکیبات شیمیایی سازنده نفت مانند H_2S بیان کرد (Vaezihir et al., 2021).

از جمله مهم‌ترین آلاینده‌هایی که سلامت منابع آب را تهدید می‌کند، آلاینده‌های نفتی می‌باشند که نمونه بارز آن،

(Mosmeri et al., 2019; Khodaei et al., 2017). بنابراین شناخت ابعاد و همچنین پیش بینی نحوه رشد و تغییر شکل این ابر آلودگی در زمان‌های مختلف در ارتباط با نوع جریان آب زیرزمینی و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان و مشخصات منشا آلودگی از ضرورات خاصی برخوردار است.

مطابق ماده ۲۱ قانون برنامه چهارم توسعه، اجرا و بهره برداری از خطوط انتقال نفت و گاز و مخازن بزرگ نفت و... مستلزم انجام مطالعات بررسی و ارزیابی زیست محیطی می‌باشد. در منطقه اراک علاوه بر حضور تجمع صنایع در این منطقه، به دلیل برداشت آب زیرزمینی و استفاده بی‌رویه بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع مشکلات عمده‌ای ایجاد شده است. بهترین راه حفاظت از منابع آب‌های سالم، به منظور استفاده طولانی مدت، شناخت کافی از تاثیرات کمی و کیفی آلاینده‌های محلول بر آب‌های زیرزمینی می‌باشد. مطالعه آلودگی آبخوان مساله مهمی است که باید مورد توجه قرار بگیرد. Jalali و همکاران (2009) گزارشی تهیه کرده‌اند که در آن به دلیل قدمت بالای پالایشگاه تهران، خطوط لوله و مخازن به صورت مقطعی فرسوده شده بودند و نفوذ و نشت آلاینده‌های نفتی را به درون زمین موجب شده بودند. ایشان با استفاده از داده‌های زمانی و مکانی سطح نفت و آب را که در ۱۶۹ چاه پایش اندازه گرفته بودند، هندسه و میزان پیشروی ابر آلودگی را مشخص کردند. سپس با مطالعه مقاطع عرضی، نقشه‌های تراز و نمودارهای سه بعدی سطح آب و نفت، از بین روش‌های پاکسازی، روش پمپاژ و تصفیه به عنوان روش برتر انتخاب شد. در مطالعه‌ای دیگر Askarzadeh Torghabeh و همکاران (2002) به منظور اندازه‌گیری میزان آلاینده‌های نفتی و ترکیباتی با منشا آلی، مثل هیدروکربن‌های پلی آروماتیک (PAHS) و ترکیبات فنولی، مجموع کربن آلی و COD موجود در آب را اندازه گرفتند. نتایج نشان داد که متوسط میزان مواد نفتی و روغنی در آب زیرزمینی پالایشگاه اراک از حداکثر مجاز مصارف کشاورزی (۱۰ میلی گرم بر لیتر) کمتر بوده است. اما از آنجا که این آلودگی از حداکثر مجاز برای آشامیدن بیشتر بوده لذا برای شرب نامناسب است.

Qobadian و همکاران (2020) به منظور بررسی تاثیر میزان آلاینده‌های پالایشگاه امام خمینی (ره) سازند بر کیفیت آبخوان دشت سازند، با نمونه برداری از ۲۴ نمونه آب زیرزمینی در محدوده‌ی پالایشگاه، نمونه‌ها را از نقطه نظر مصارف مختلف

بحران آلودگی نفتی در مناطق صنعتی و اطراف پالایشگاه‌ها و پتروشیمی است (Mirzaii et al., 2012). در این میان نیز مهم ترین قسمت آلاینده‌های نفتی، مواد محلول (مواد نفتی سبک) از جمله بنزین و گازوئیل هستند که شامل BTEX و افزودنی‌هایی نظیر MTBE (متیل ترشری بوتیل اتر) است. این هیدروکربن‌ها که در واقع بخش محلول آب زیرزمینی را شامل می‌شوند، علاوه بر اینکه ورود آن به آب زیرزمینی تشکیل ابر آلودگی می‌دهد به دلیل سمی بودن، سرطان زایی، تغییرات موتاژنیکی (تغییرات جهش زایی) و تاثیرات سوء ای که بر روی سیستم عصبی می‌گذارد، در طبیعت نگرانی‌های زیادی را سبب شده است (Qobadian et al., 2020). MTBE یک ماده آلی اکسیژن دار است که از واکنش شیمیایی متانول و ایزو بوتان تولید می‌شود. این ماده در واقع نوعی افزودنی است که جهت افزایش عدد اکتان به بنزین اضافه می‌شود (Fels, 1999). قابلیت انحلال این ماده نسبت به سایر ترکیبات بنزین بیشتر است. بطوری که ۳۰ برابر بیشتر از بنزن در آب حل می‌شود. این ماده نسبت به بنزن تمایل کمتری به جذب توسط رسوبات و مقاومت بیشتری به تجزیه زیستی دارد (ATSDR, 1997). BTEX نیز مخفف اسم چهار ترکیبی است که در ذخایر نفتی، زغال سنگ و دامنه وسیعی از محصولات نفتی پالایشگاه‌ها پیدا می‌شود. بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، ایزومرهای زایلن (خانواده‌ی چهارگانه‌ی BTEX) رایج ترین هیدروکربن‌های آروماتیک هستند که در اکثر ضایعات پالایشگاه نفت وجود دارد و می‌تواند آبخوان را آلوده کند (Firmino et al., 2015) است. این ماده به آسانی در آب حل شده و به سمت آب زیرزمینی حرکت می‌کند. به علت تمایل جذب BTEX توسط رسوبات، سرعت حرکت آن‌ها در آب زیرزمینی کمتر از MTBE می‌باشد و برخلاف MTBE در صورت وجود اکسیژن تجزیه زیستی می‌شود. به طور کلی گسترش و حرکت چنین آلاینده‌هایی که قابلیت انحلال بالایی در آب زیرزمینی دارند؛ سبب ایجاد یک ابر آلودگی می‌شوند. این ترکیبات سمیت بالا و اثرات سرطان‌زا بر سلامت انسان و محیط زیست دارند (Chiu et al., 2017). البته این ترکیبات را می‌توان حذف کرد و یا با استفاده از واکنش‌های شیمیایی به ترکیبات کمتر مضر تبدیل کرد (Liang et al., 2017; Gholami et al., 2018). علاوه بر این بسیاری از باکتری‌های تجزیه کننده مانند باکتری Pedumonanas از هیدروکربن‌های نفتی به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند

طرفی عبور خطوط لوله به منظور انتقال فرآورده‌های نفتی از قسمت شمالی و جنوبی این چاه، سبب ظهور و بروز آلودگی‌های نفتی در چاه شماره ۷ شده است. همانطور که در شکل ۱ نمایش داده شده است با توجه به اینکه ظهور و بروز آلودگی در چاه‌های کشاورزی اثر مخربی بر روی محصولات اراضی کشاورزی در پایین دست پتروشیمی ایجاد می‌کند، گسترش آلاینده‌های نفتی در این چاه منجر به شکایت اهالی شده است (شکل ۱).

محدوده مورد مطالعه براساس تقسیم‌بندی اشتوکلین در پهنه سندنج-سیرجان قرار دارد. همانطور که در شکل ۲ نمایش داده شده است، کهن ترین سنگ‌های این منطقه مربوط به دوران مزوزوئیک با واحدهای تریاس و بعد از آن ژوراسیک و بعد کرتاسه با واحدهای رسوبی از جمله قلوهای، ماسه سنگی، آهکی و دولومیتی می‌باشد که در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه واقع شده است. واحدهای سنوزوئیکی متعلق به دوره‌ی پلیوسن شامل کنگلومرا در قسمت جنوب شرقی منطقه و واحدهای کوآترنری شامل واحدهای آبرفتی و کنگلومرای سخت نشده و سست هستند (Adapted from the geological map of Shazand with a scale of 1:1,000,000, Ministry of Energy, 2009) (شکل ۲).

دشت شازند با وسعتی بالغ بر ۹۸۹/۳۸ کیلومتر مربع توسط ارتفاعات مختلف از سمت شرق، غرب و جنوب غربی (امتداد چین خوردگی زاگرس) احاطه می‌شود و یکی از زیر حوضه‌های قره چای محسوب می‌شود.

آبخوان دشت شازند از نوع آبخوان‌های آزاد و هموزن می‌باشد که بر اساس آمار تخلیه‌ی منابع آب ارائه شده توسط آب منطقه‌ای استان اراک، به ترتیب ۰.۴٪، ۰.۹۳٪ و ۰.۲٪ از حجم ذخیره آن برای مصارف شرب کشاورزی و باغداری و صنایع مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج حاصل از آزمون پمپاژ صورت گرفته در این منطقه توسط وزارت نیرو، ضریب ذخیره آبخوان پنج درصد و حداکثر ضریب قابلیت انتقال آبخوان در مناطق مرکزی این دشت ۲۵۰۰ متر مربع بر روز برآورد گردیده است که به سمت حاشیه دشت این مقدار به ۵۰۰ متر مربع بر روز می‌رسد (Ministry of Energy, 2009). به منظور بررسی بهتر و دقیق‌تر آبخوان دشت شازند، ۱۳ حلقه چاه پایش در محدوده گسترش آلودگی حفر گردیده است. براساس اطلاعات بدست آمده از آمار ماهانه سطح آب زیرزمینی و ترسیم خطوط پتانسیل جهت جریان آب زیر زمینی مشخص گردید که جهت جریان عمومی در سال ۱۳۹۶ از سمت شرق به غرب و

مورد ارزیابی قرار دادند. در نهایت طبق نمودار شولر، تمامی نمونه‌های برداشت شده برای مصارف شرب مناسب بودند. همچنین بر اساس معیارهای Na%, RSC, SAR, ESP، برای مصارف کشاورزی نیز مناسب بوده و به دلیل وجود کانی‌های رسوب گذار آهکی برای استفاده صنعتی مناسب نبودند.

همچنین مطالعه‌ای دیگر در دشت اراک و در حوضه آبریز دریاچه میقان، به عنوان منطقه‌ای که در نتیجه افت سطح آب زیرزمینی در معرض خطر نشت زمین قرار دارد، انجام شده است (Vaezihir et al., 2017).

در قسمت‌های شمالی دشت شازند که از توابع شهرستان اراک می‌باشد، به دلیل وجود تاسیسات پالایشی و پتروشیمی، مخازن متعدد نگهداری نفت خام، فرآورده‌های نفتی، پتروشیمی، خطوط لوله و نیروگاه، احتمال نشت مواد آلاینده از مخازن و خطوط لوله در این قطب صنعتی وجود دارد. بنابراین آلودگی در محیط آب و خاک این منطقه دور از انتظار نیست. Vaezihir و همکاران (2020) باتوجه به مطالعاتی که در قسمت‌های شمالی دشت شازند داشته‌اند، جهت جریان آب زیرزمینی را به سمت اراضی کشاورزی و پایین دست، اعلام کردند؛ از طرفی مشاهده آلودگی نفتی در چاه شماره ۷ این منطقه منجر به مناقشات محلی شده بود. بنابراین موضوع منشاء آلودگی و میزان گسترش آن به یک مسئله اساسی زیست محیطی در منطقه تبدیل شد. از این رو بررسی آلودگی نفتی در منطقه مورد مطالعه امری ضروری می‌باشد. لذا هدف از انجام این تحقیق اندازه‌گیری غلظت و تعیین میزان گسترش ابرآلودگی آلاینده‌های نفتی ناشی از نشت خط لوله و بررسی نقش مخروط افت ناشی از روشن بودن پمپ چاه شماره ۷ بر روی میزان پیشروی و حرکت ابر آلودگی می‌باشد.

۲- منطقه مطالعاتی و خصوصیات زمین شناسی

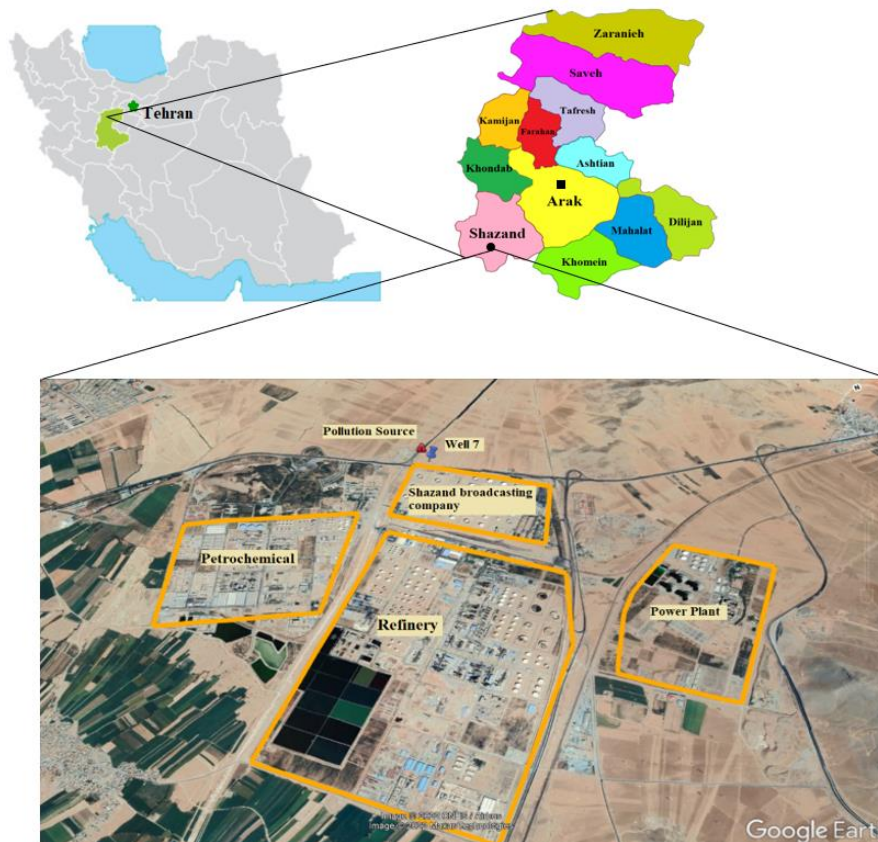
منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری در محدوده‌ی جنوب غربی شهرستان اراک و قسمت‌های شمالی دشت شازند واقع شده است. چاه شماره ۷ در ۲۲ کیلومتری جاده اراک- بروجرد و در نزدیکی خروجی گذرگاه اراک قرار گرفته است. این چاه که مالکیت آن به پتروشیمی شازند تعلق دارد دارای مصرف صنعتی می‌باشد و میزان تخلیه روزانه آن تقریباً ۹۰۰ مترمکعب بر روز برآورد گردید است. این چاه از یک آبخوان آزاد تک لایه تغذیه می‌کند و به دلیل روشن بودن دستگاه پمپ جهت بهره برداری بیشتر، منجر به ایجاد مخروط افت گردیده است. از

منتخب حفر شده در منطقه، نمونه‌گیری صورت پذیرفت که در این قسمت روش انجام کار توضیح داده شده است: براساس گزارش اولیه از محل دقیق نشت اتفاق افتاده، پس از گودبرداری از روی خط لوله‌ی فرآورده نفتی که دچار خوردگی و فرسودگی شده بود محل نشتی ترمیم شد؛ در نتیجه نقطه دقیق نشت قطع شد. هدف از این پژوهش بررسی میزان گسترش ترکیبات نفتی آروماتیک ناشی از نشتی بنزین در شمال دشت شازند می‌باشد. بدین منظور با توجه به عدم وجود چاه‌های پایش در نزدیکی نقطه دقیق نشت، تعدادی چاه پایش در نزدیکی محل نشت و نیز در جهت عمومی جریان آب زیرزمینی که از بالادست به سمت پایین دشت می‌باشد؛ برای حفاری انتخاب گردید. به لحاظ کمی تعداد چاه‌های هر پروژه را شرایط اقتصادی تعیین می‌کند. در این پروژه ۱۳ چاه پایش برای حفاری تعیین محل شدند. به لحاظ کیفی نیز موقعیت سایت‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که داده‌های حاصل از آن‌ها حتی المقدور جامع بوده و از طرفی برای کارهای مدل‌سازی هم پوشانی خوبی داشته باشند.

شمال شرقی به جنوب غربی بوده است ولیکن در سال ۱۳۹۹ به دلیل پمپاژ صورت گرفته از چاه شماره ۷ یک جریان محلی به وجود آمده و مخروط افت حاصل از پمپاژ چاه مذکور باعث شده آب زیرزمینی از پایین دست (جنوب و جنوب غربی) به بالا دست دشت (شمال و شمال شرقی) هدایت شود. لازم به ذکر است که عمق سنگ کف این آبخوان به طور متوسط ۱۱۰ متر برآورد گردیده است. بررسی های صورت گرفته نشان داده است که وجود سازندهای آهکی و کربناته در این حوضه آبریز می تواند در میزان تغذیه و شارژ شدن آبخوان تاثیر گذار باشد و منجر به افزایش کمی و کیفی منابع آبخوان آبرفتی دشت شازند گردد. (Ministry of Energy, 2009).

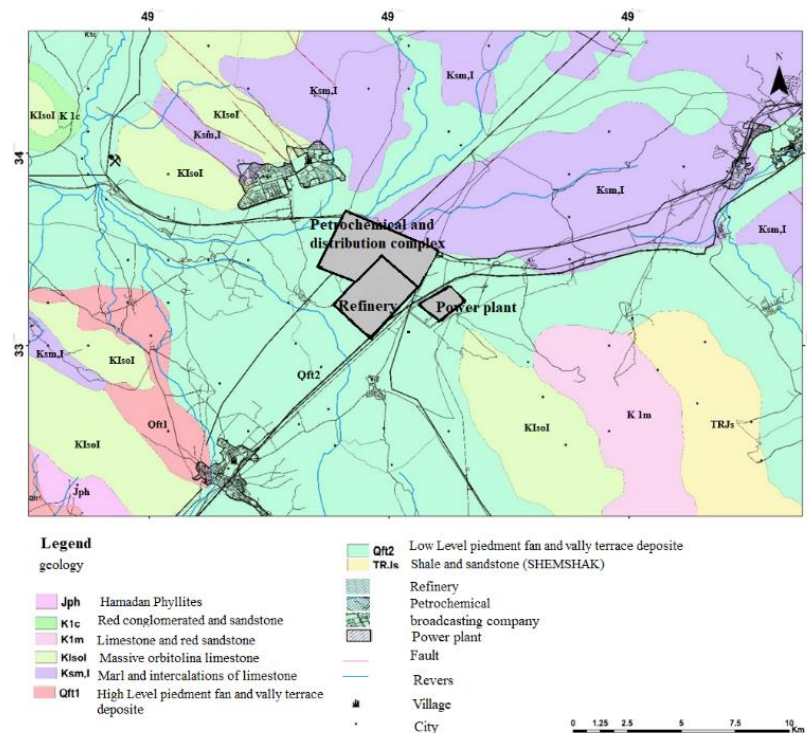
۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

وجود تاسیسات صنعتی و نفتی در منطقه و از طرفی برداشت روزانه‌ی آب زیرزمینی از چاه‌های بهره برداری منجر به کاهش ذخیره آبخوان و نیز تشدید غلظت آلودگی خواهد شد. در نتیجه برای بررسی نوع و میزان گسترش ابرآلودگی از چاه‌های پایش



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Location of the study area



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه
Fig. 2. Geological map of the study area

نحوی که تقریباً در نیمه پایین گمانه، لوله مشبک است. سپس حدفاصل لوله و خاک، گراول ریزی شده است. پس از حفاری با سپری شدن یک بازه زمانی کوتاه جهت پایداری سطح آب زیرزمینی و نیز خاموش بودن پمپ چاه شماره ۷، علاوه بر اندازه گیری و پایش سطح آب زیرزمینی، به رسم دقیق تر جهت جریان آب زیرزمینی پرداخته شد و نیز از تمام چاه‌های پایش حفر شده طی دو مرحله (مرداد و اسفند ۱۳۹۹) نمونه‌هایی برداشته شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. در آزمایشگاه با رعایت اصول، به روش کروماتوگراف گازی تمامی نمونه‌ها آنالیز شدند. جهت انجام این کار از هر چاه پایش هنگام نمونه برداری یک شیشه به حجم ۱۰۰ سی سی، نمونه آب زیرزمینی برداشت شد. به منظور جلوگیری از هدر رفت مواد فرار و تجزیه بیولوژیکی باکتری‌ها به هر نمونه معادل یک سی سی سدیم آزاید (NaN_3) اضافه شد، همچنین از نوار تفلون و درپوش مجهز استفاده گردید. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه به منظور استخراج کامل و دقیق ترکیبات نفتی موجود در نمونه‌های آب از حلال دی کلرومتان (CH_2Cl_2) استفاده شد. جهت انجام فرایند آنالیز به کمک دستگاه کروماتوگرافی/ طیف سنجی جرمی (GC/MS) مراحل زیر به ترتیب انجام شدند:

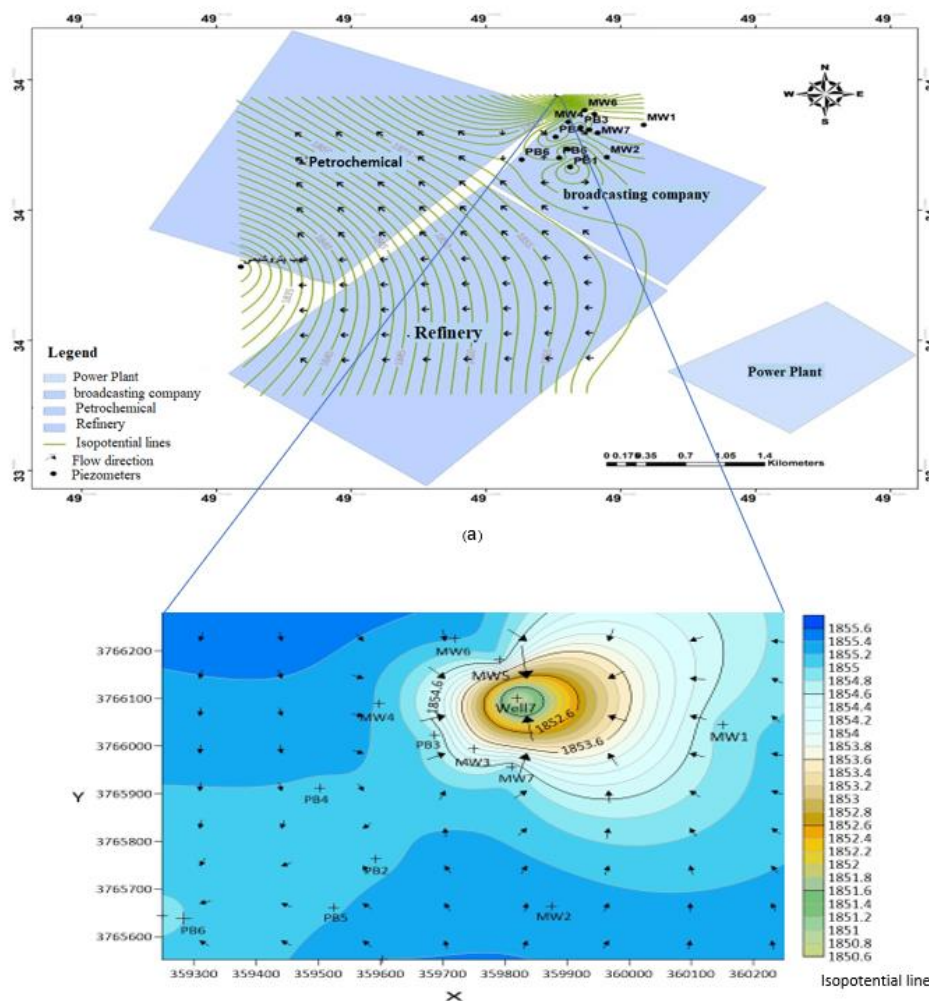
به علت آبرفتی بودن محدوده‌های حفاری، بهترین دستگاه جهت حفاری چاه‌ها، دستگاه حفاری ضربه‌ای می‌باشد. از طرفی باتوجه به وجود آلودگی در آب‌های موجود در محدوده و امکان انتقال آلودگی به خاک و آب زیر زمینی در نقاط حفاری، آب از مناطق با فاصله زیاد و بیرون از محدوده مورد مطالعه تهیه و به محل‌های حفاری انتقال یافت. بعد از تامین آب مصرفی دستگاه، عملیات حفاری شروع گردید. تمام چاه‌های ذکر شده به قطر ۸ اینچ حفاری و سپس با لوله ۶ اینچ تجهیز گردید. عمق حفاری ۵۸ متر بوده و فاصله جدار چاه و لوله گراول پک ریخته شد. گراول پک‌ها قطرشان ۳ تا ۸ میلی متر بوده و لوله‌های حفاری از جنس PVC بوده است و در قسمت لایه آبدار اسکرین گذاری گردید. از هر پنج متر حفاری نیز یک مغزه حفاری برای تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی و وضعیت جنس ذرات آبخوان به آزمایشگاه ارسال گردید. پس از گذشت یک بازه زمانی کوتاه، به منظور تکمیل شبکه پایش مجدداً تعداد ۶ گمانه (گمانه‌های سری PB) به عمق ۵۵ متر حفاری و جهت پیرومتر کردن گمانه‌ها و پایش سطح آب زیرزمینی در طول زمان، مشابه حفاری سری قبل لوله‌های PVC به قطر ۵ اینچ در داخل گمانه‌ها کار گذاشته شد. به

یافته به منظور انجام فرایندهای اندازه گیری کمی و کیفی به دستگاه GC/MS تزریق گردید.

۳- بحث و نتایج

به طور کلی آبخوان دشت شازند یک آبخوان آزاد تک لایه همگن و همسان می باشد. با توجه به موقعیت چاه‌های پایش حفر شده و بر اساس اطلاعات اولیه جهت تقریبی جریان آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی، از سمت شرق به غرب بوده، در واقع جریان آب زیرزمینی از شمال و شمال شرقی وارد آبخوان و از قسمت‌های جنوب غربی از آبخوان خارج می شود (شکل ۳) که به سمت اراضی کزاز و علی آباد بوده و می تواند باعث آلودگی چاه‌های کشاورزی و آب شرب منطقه شود.

ابتدا ۲۰ سی سی از نمونه آب جمع آوری شده به کمک پیپت مدرج برداشته و به ظرف مخصوص سیتوم دار درب استیل ضد زنگ انتقال داده شد. مقدار ۱ گرم سدیم کلرید و نیز ۱ سی سی از حلال آلی استخراج کننده دی کلرومتان به محلول آبی اضافه شد. مخلوط حاصل به کمک همزن مغناطیسی به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد و به مدت ۱۰ دقیقه در یک فضای تاریک، ساکن و خنک باقی ماند. در این مرحله سانتریفیوژ کردن با سرعت rpm ۴۵۰۰ به مدت ۴ دقیقه انجام شد. محلول زیرین حاصل از سانتریفیوژ که همان فاز آلی استخراج یافته است، به کمک پیپت پاستور به ویال‌های کوچک شیشه‌ای ویژه کروماتوگرافی انتقال داده شد. محلول استخراج یافته پس از آب زدایی به کمک نمک سولفات سدیم به دمای 18°C - انتقال داده شد. در نهایت حجم یک میکرولیتر از محلول استخراج



شکل ۳- (a) نقشه جهت جریان در محدوده مطالعاتی و (b) نمایی نزدیک تر از نقشه‌ی جهت جریان در محدوده مطالعاتی
Fig. 3. (a) Flow direction map for the study area and (b) A closer view of the flow direction map in the study area

به عبارت دیگر غلظت بنزن در چاه شماره ۷، بیست برابر کاهش پیدا کرده است. غلظت بنزن در چاه‌های MW6, MW5 و MW4، به ترتیب به مقادیر ۲۵۷، ۷۱۲۱/۵، ۳۸۲۰/۷ میکروگرم بر لیتر رسیده است. در واقع غلظت بنزن نسبت به نتایج سری گذشته به ترتیب ۱۶۱، ۶، ۹/۲ برابر کاهش داشته است. با وجود این کاهش چشمگیر در غلظت بنزن، همانطور که در شکل a4 نمایش داده شده است تمامی نمونه‌ها براساس استاندارد فوق آلوده به بنزن هستند و برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب نمی‌باشند.

مطابق جدول ۱، نتایج آنالیز آزمایشگاهی مربوط به اسفند ۱۳۹۹ در مقایسه با نتایج اخذ شده در مرداد ماه ۱۳۹۹ نشان می‌دهد که غلظت آلاینده‌ها به طور چشمگیری کاهش یافته است. حداکثر غلظت مجاز بنزن در آب شرب توسط استاندارد آبیاری ۱۰۵۳ آب شرب ایران (ISRI-1053) و استاندارد آبیاری (MFE, 2011) به ترتیب ۱۰ و ۸۰۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. غلظت بنزن در چاه شماره ۷ (Well7) ۲۶۰/۸ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. در واقع این مقدار نسبت به سری اول نمونه برداری (مرداد ۱۳۹۹) کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده است.

جدول ۱- نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده (مرداد و اسفند ۱۳۹۹).

Table 1. The results of samples analysis (July 2020-March 2021).

No	Month	Concentration of pollutants (µg/Lit)					
		Benzen	Toluene	Xylenes	Ethylbenzene	MTBE	PAHs
Well 7	Augst	5250	4830	-	-	11040	-
	March	260.8	30	-	-	1378.6	-
MW5	Augst	42800	9900	-	-	475100	-
	March	7121.5	2681	-	-	48771	-
MW6	Augst	35020	9800	3020	-	550400	-
	March	3820.7	1021.4	562.3	-	40578.6	-
PB3	Augst	6690	1040	450	-	-	-
	March	1046.1	193.6	72.6	-	104.5	21.4
MW4	Augst	41400	-	--	-	-	-
	March	257	-	-	-	494	-

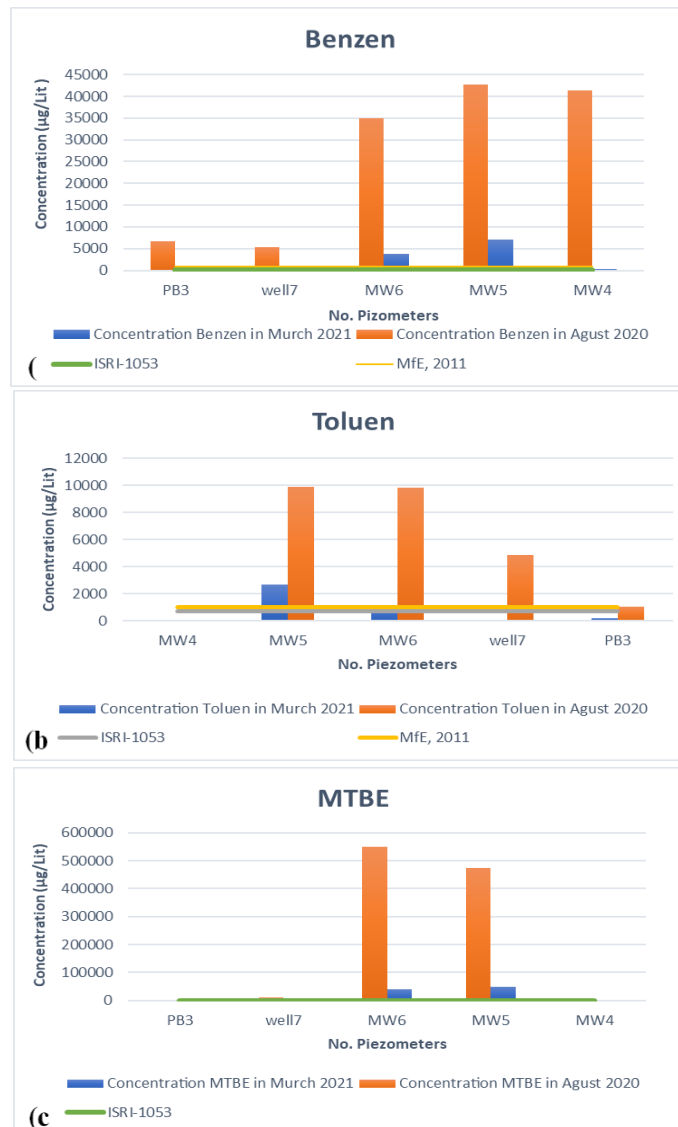
به مرداد ماه (مرحله اول نمونه برداری) به ترتیب ۳/۶، ۹/۵، ۵/۳ برابر کاهش پیدا کرده است. همانطور که در شکل ۴-ب) نمایش داده شده است؛ هیچ یک از چاه‌های مذکور به لحاظ استاندارد ذکر شده برای مصارف شرب یا کشاورزی مناسب نمی‌باشند (شکل ۴ ب). در چاه MW4 نیز، خوشبختانه هیچ گونه آثاری از تولوئن دیده نشده است.

استاندارد ۱۰۵۳ آب شرب ایران، حداکثر غلظت مطلوب MTBE را در آب شرب ۱۵ میکروگرم بر لیتر تعیین کرده است. غلظت این آلاینده در چاه شماره ۷، از ۱۱۰۴۰ میکروگرم بر لیتر پس از گذشت تقریباً هفت ماه به ۱۳۷۸/۶ میکروگرم بر لیتر رسیده است که در واقع ۸ برابر کاهش داشته است. این آلاینده در چاه MW5 و MW6 به ترتیب ۴۷۵۱۰۰ و ۴۰۵۷۸/۶ میکروگرم بر لیتر است که ۹/۳ برابر و ۱۳/۵ برابر

حداکثر مقدار مجاز تولوئن در آب شرب، توسط استاندارد آبیاری ۱۰۵۳ آب شرب ایران و استاندارد آبیاری به ترتیب ۷/۰ و ۳۹ میلی گرم بر لیتر می‌باشد. این مقادیر در چاه شماره ۷ (Well7) به ۳۰/۰ میکروگرم بر لیتر رسیده است. در واقع این مقدار نسبت به مرداد ماه ۱۳۹۹ (۴۸۳۰ میکروگرم بر لیتر) کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. به عبارت دیگر تولوئن در چاه شماره ۷، ۱۶۱ برابر کاهش پیدا کرده است. در واقع تولوئن از حداکثر مقدار مجاز شرب، ۲۳ برابر پایین آمده است و برای شرب و کشاورزی فعلاً در رده مناسبی قرار دارد ولیکن به طور کلی به دلیل حضور سایر آلاینده‌های مضر نظیر بنزن این چاه برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب نیست. همچنین غلظت تولوئن در چاه‌های PB3, MW6, MW5 به ترتیب ۲۱۸۶، ۱۰۲۱/۴، ۱۹۳/۶ میکروگرم بر لیتر می‌باشد که این مقدار نسبت

ایزومرهای زایلین در هردو سری نمونه برداری تنها در چاه-های MW6 و PB3 رویت شده است که این غلظت‌ها همانند غلظت آلاینده‌های دیگر نسبت به سری اول نمونه برداری کاهش پیدا کرده است. ولیکن از آنجا که حداکثر غلظت مجاز زایلین براساس استاندارد ۱۰۵۳ آب شرب ایران و آبیاری به ترتیب ۵۰۰ و ۳۱ میلی گرم بر لیتر می‌باشد؛ کیفیت آب این چاه‌ها نیز مناسب برای مصارف شرب و کشاورزی نمی‌باشد.

کاهش داشته است. همچنین در چاه‌های پایش PB3 و MW4 برخلاف سری اول نمونه برداری، کمی آلاینده MTBE ظهور و بروز پیدا کرده است. ولیکن در سایر چاه‌های پایش خوشبختانه آلودگی محرز مشاهده نشده است. همانطور که در شکل ۴- (ج) نمایش داده شده است؛ هیچ یک از چاه‌های پایش به لحاظ حداکثر غلظت مجاز MTBE برای مصارف شرب مناسب نیستند.

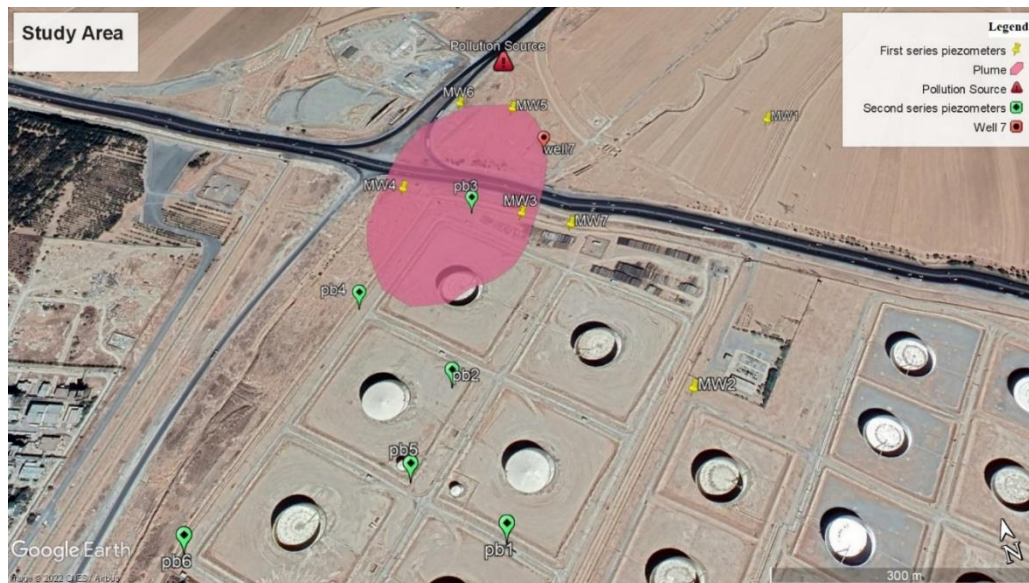


شکل ۵ - (a) غلظت بنزن در نمونه‌های آب زیرزمینی اندازه گیری شده نسبت به استانداردهای آب شرب و استاندارد آب آبیاری، (b) غلظت تولوئن در نمونه‌های آب زیرزمینی اندازه گیری شده نسبت به استانداردهای آب شرب و استاندارد آب آبیاری و (c) غلظت MTBE در نمونه‌های آب زیرزمینی اندازه گیری شده نسبت به استانداردهای آب شرب.

Fig. 4. (a) The concentration of benzene in the groundwater samples, compared to drinking water and irrigation water standards (b) The concentration of toluene in the groundwater samples, compared to drinking water and irrigation water standards, and (c) The concentration of MTBE in the groundwater samples, compared to drinking water.

شماره ۷، جریان آب زیرزمینی از پایین دست به بالادست دشت هدایت شده و مخروط افت ایجاد کرده است. که این مخروط افت تا حدودی از پیشروی ابر آلودگی به سمت پایین دست و سایر چاه‌های پایش جلوگیری کرده است.

در نهایت با مشخص بودن نوع و منشأ نشتی و نتایج مربوط به سنجش‌های آزمایشگاهی در چاه‌های پایش، محدوده گسترش ابر آلودگی، با مدنظر قراردادن جهت جریان آب زیرزمینی همانطور که در شکل ۶ نمایش داده شده است، مشخص گردید. به عبارت دیگر به دلیل پمپاژ چاه بهره برداری



شکل ۵- گسترش ابر آلودگی بنزن در محدوده ی مطالعاتی
Fig. 5. Distribution of Benzene plume in the study area

آلودگی با مساحت بالغ بر ۱۰هکتار در محدوده مطالعاتی به طرف پایین دست دشت گسترش پیدا کرده است. از طرفی با توجه به اطلاعات بدست آمده از حفاری چاه‌های پایش، می‌توان ادعان داشت که عمق سنگ کف و عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی به ترتیب ۱۱۰ و ۳۷ متر می‌باشد؛ بنابراین عمق آب زیرزمینی ۷۳ متر خواهد بود. در نتیجه با دانستن ضریب ذخیره ۵ درصدی آبخوان، تقریباً ۳۶۵ هزار متر مکعب از حجم آب زیرزمینی منطقه آلوده شده است. لازم به ذکر است که با توجه به قطع بودن منشأ آلودگی، و وجود مقدار قابل توجهی از ماده آلاینده در زون غیراشباع آبخوان که با نوسانات سطح آب زیرزمینی، در فصول مختلف و از طریق بارش‌ها وارد آب می‌شود و وسعت محدوده گسترش آلودگی در طول مدت پژوهش، کاهش محسوسی پیدا نکرده است.

این نتایج، با مطالعاتی که در سال ۱۳۹۸ در همین منطقه مطالعاتی (Vaezihir and Hajipour, 2020) به جهت تعیین منشأ آلودگی و نوع آلاینده‌های موجود در چاه شماره ۷ شمال

۴- نتیجه گیری

کاهش چشمگیر غلظت آلاینده‌ها، به دلیل مخروط افت ناشی از چاه شماره ۷ (well7) و تغییر جریان محلی می‌باشد. به طوری که جریان آب زیرزمینی به همراه آلاینده‌های محلول در آب از پایین دست دشت که دورتر از منشأ نشتی قرار دارند به سمت بالا دست دشت کشیده می‌شود و آلاینده‌ها از محل نشت به سمت پایین دست گسترش چندانی پیدا نمی‌کنند.

گسترش ابر آلودگی به طرف چاه‌های شماره MW6 و MW4 تحت تاثیر جهت عمومی جریان در منطقه بوده ولی آلودگی چاه شماره ۷ و چاه MW5 و سایر چاه‌های پایش واقع در ابر آلودگی در اثر جریان محلی ایجاد شده است و تحت تاثیر مخروط افت چاه شماره ۷ می‌باشد. بدین معنی که در اثر پمپاژ چاه شماره ۷، سطح ایستابی ایجاد یک مخروط افت کرده و منجر به ایجاد جریان محلی شعاعی به طرف مرکز مخروط افت چاه شماره ۷ می‌شود.

همچنین براساس اندازه گیری‌های صورت گرفته، ابر

تقدیر و تشکر

بدین وسیله نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران که بخشی از هزینه‌های این پروژه را تامین کردند ابراز می‌دارند.

دشت شازند انجام گرفته بود همخوانی دارد. در مطالعات قبلی پس از شناسایی محل دقیق نشت، آلاینده موجود در آبخوان، از نوع بنزین شناسایی شده بود که از نوع فاز محلول در آب می‌باشد. با گذر زمان نتایج حاضر نیز حاکی از افزایش غلظت ترکیبات بنزین در آبخوان چاه شماره ۷ شازند است و منطبق با مطالعات قبلی می‌باشد.

مراجع

- Askarzadeh Targhabeh, H., Bazarafshan, A., Hajipourfard, H., 2002. Investigation of Oil pollutants in the underground waters of the Arak Refinery area. *Journal of Environmental* 29, No 32. 20.1001.1.10258620.1382.29.32.7.9
- ATSDR, 1997. Methyl Tert-Butyl Ether. U.S. Department OF Health and Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Chiu, H.Y., Verpoort, F., Liu, J.k., Chang, Y.M., Kao, C.M., 2017. Using intrinsic bioremediation for petroleum- hydrocarbon contaminated groundwater cleanup and migration containment; effectiveness and mechanism evaluation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 72, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.01.002>.
- Fels, J., 1999. Source-identification investigations of petroleum contaminated groundwater in the Missouri Ozarks. *Journal of Engineering Geology* 52, 3–13. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00049-0](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00049-0).
- Firmino, P.I.M., Farias, R.S., Barros, A.N., Buarque, P.M., Rodríguez, E., Lopes, A.C., dos Santos, A.B., 2015. Understanding the anaerobic BTEX removal in continuous-flow bioreactors for ex situ bioremediation purposes. *Chemical Engineering Journal*, 281, 272-280. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.106>.
- Gholami, F., Shavandi, M., Mohammad, S., Dastgheib, M., Amoozegar, M.A., 2018. Naphthalene remediation form groundwater by Calcium peroxide (CaO₂) nanoparticles in permeable reactive barrier (PRB). *Chemosphere* 212, 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.056>.
- Jalali, M., Samani, N., Rezaei, M., 2009. Monitoring oil spills and water and soil pollution in Tehran refinery. The first international conference on water resources management. Shahrood. <https://civilica.com/doc/83146>.
- Khodaei, K., Nassery, H.R., Asadi, M.M., Mohammadzadeh, H., Mahmoodlu, M.G., 2017. BTEX biodegradation in contaminated groundwater using a novel strain (*Pseudomonas* sp. BTEX-30). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 116, 234-242. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.11.001>.
- Li, J., de Toledo, R.A., Chung, J., Shim, H., 2014. Removal of mixture of cis-1, 2-dichloroethylene/benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes from contaminated soil by *Pseudomonans plecoglossicida*. *Journal of Chem Technol. Biotechnol* 89, 1934-1940. <https://doi.org/10.1002/jctb.4279>.
- Liang, X., Guo, C., Liao, C., Liu, S., Wick, L.Y., Peng, D., et al., 2017. Drivers and applications of integrated clean-up technologies for surfactant-enhanced remediation of environments contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Environmental Pollution* 225, 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.045>.
- Ministry of Energy., 2009. Prohibition extension of Shazand Plain study area, Central Province Regional Water Company, Basic Studies Office, Resources, Group, code 4120.
- Mirzaii, A., Rahmani, H., Jadidi, A., 2012. Groundwater pollution and its management. The second environmental planning and management conference, Tehran. University of Tehran. <https://civilica.com/doc/148207>
- Mosmeri, H., Gholami, F., Shavandi, M., Dastgheib, S.M.M., Alaie, E., 2019. Bioremediation of benzene-contaminated groundwater by calcium peroxide (CaO₂) nanoparticles: continuous-flow and biodiversity studies. *Journal of hazardous materials*, 371, 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.071>

- Vaezihir, A., Mohammadzadeh Motlaq, M., Bakhtiari, Sh., Nematollahi, R., 2021. Identification of LNAPL phase of oil contaminations in the aquifer of Bandar Abbas Oil Refinery. *Journal of Human and Environment* 59, 141-158. <https://doi.org/20.1001.1.15625532.1400.19.4.10.8>
- Qobadian, S., Vaezihir, A., Golmohamadi, A., 2020. The study of oil-contamination groundwater due to Shazand Refinery, *Journal of Environmental Scientia's Technology*, 22, 49-59. <https://doi.org/10.22034/jest.2018.17977.2693>.
- Vaezihir, A., Ahmadzadeh, Z., Hasanpoursedghi, M., Fatehifar, E., 2017. Investigating the possible risk of subsidence and karst formation on the west ethylene pipeline between Meandoab and Tabriz Petrochemical. *Journal of Advanced Applied Geology*. 6(4), 89-99. <https://doi.org/10.22055/AAG.2016.12711>.
- Vaezihir, A., Hajipour, M., 2020. Determination of Characteristics, Extent and Pollution Source in well 7 of Shazand Petrochemical Complex. MSc thesis. University of Tabriz.
- Firmino P.I.M., Farias, R.S., Barros, A.N., Buarque P.M.C., Rodríguez, E., Lopes, A.C, dos Santos, A.B., 2015. Understanding the anaerobic BTEX removal in continuous-flow bioreactors for ex situ bioremediation purposes. *Chemical Engineering Journal* 281, 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.106>.