مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۵۹، زمستان ۱۴۰۰، صص ۱۴۱-۱۵۸

شناسایی آلاینده‌های نفتی فاز LNAPL در آبخوان پالایشگاه بندرعباس

عبدالرضا واعظی هیر[۱*]

r.vaezi@tabrizu.ac.ir

منصوره محمدزاده[۲]

شعیب بختیاری[۳]

رضا نعمت الهی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۵

چکیده

زمینه و هدف: میادین نفتی، پالایشگاه‌ها، خطوط انتقال و پمپ‌بنزین‌ها ازجمله منابع آلودگی هستند که مواد نفتی را می‌توانند وارد محیط کنند. در پالایشگاه بندرعباس نشت‌هایی رخ داده و آب زیرزمینی منطقه را آلوده کرده است.

روش بررسی: به منظور بررسی نحوه گسترش و تعیین منشأ آلاینده‌ها ابتدا خصوصیات آبخوان، نظیر عمق و جهت جریان آب زیرزمینی، جنس بدنه آبخوان و ضرایب هیدرودینامیک آن با استفاده از داده‌های ۱۴۳ چاه پایش آب زیرزمینی تعیین گردید و ۶ حلقه چاه جدید برای شناخت بیشتر یکی از ابرهای آلودگی شناسایی‌شده، حفر گردید. عمق آب زیرزمینی، ضخامت ماده نفتی و منشأ نشت آلاینده‌ها تعیین شد.

یافته‌ها: آبخوان پالایشگاه یک آبخوان آزاد با بدنه مارنی و آهکی بوده و ضخامت آن حداکثر ۱۷ و حداقل ۳ متر می‌باشد. عمق برخورد به سطح آب ۳ تا ۳/۶۰ متر، هدایت هیدرولیکی ۲/۴۵ متر بر روز و جهت عمومی جریان از شمال غرب به جنوب شرق پالایشگاه می‌باشد. همچنین سرعت متوسط آب زیرزمینی در آبخوان m/d ۲×۱۰^{-۲} برآورد و حداقل در ۱۱ چاه فاز آزاد نفتی به‌صورت LNAPL شناسایی گردید.

نتیجه‌گیری: بیشترین و کمترین ضخامت ماده نفتی در آبخوان، به ترتیب ۱۱۵ و ۰/۰۵ سانتیمتر واقع در غرب پالایشگاه می‌باشد. تنوعی از آلاینده‌های نفتی از بنزین و نفت خام تا فازهایی با گرانروی بالا نظیر نفت کوره منجر به آلودگی آبخوان منطقه شده است. مخازن بنزین، گازوئیل، نفت سفید و کانال انتقال پساب ناشی از شستشوی واحد ۷۱ به بخش بازیافت، منشأ اصلی نشت آلاینده‌ها به آبخوان پالایشگاه بوده است.

کلمات کلیدی: LNAPL ، پالایشگاه بندرعباس، آلاینده‌های نفتی، آب زیرزمینی

۱- استاد گروه دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، گروه علوم زمین

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، گروه علوم زمین

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبشناسی دانشگاه تبریز دانشکده علوم طبیعی، گروه علوم زمین

۴- کارشناس محیط زیست شرکت پالایش نفت بندرعباس

Human and Environment, No. 59, Winter 2021, pp 141-158

Identification of LNAPL phase of oil contaminants in the aquifer of Bandar Abbas Oil Refinery

Abdorreza Vaezihir[1*]

r.vaezi@tabrizu.ac.ir

Mansoreh Mohammadzadeh Motlaq[2]

Shoaib Bakhtiari[3]

Reza Nematollahi[4]

Received: March 6, 2017 Accepted: August 27, 2017

Abstract

Aim and scope: Oil fields, refineries, pipelines and gas stations are potential sources of pollution that can be release oil contaminants into the environment. There is some evidence of groundwater pollution in the aquifer of Bandar Abbas oil refinery.

Methodology: To determine the origin of pollutants, the aquifer properties, such as depth and direction of groundwater flow, aquifer body material and hydrodynamic coefficients 143 groundwater monitoring wells were monitored and the groundwater samples were analyzed. For detailed study 6 new wells were dug in the one of the pollution mound. Groundwater depth, thickness and origin of the oil release were determined.

Findings: The refinery aquifer is an unconfined aquifer with a body of marl and limestone with a thickness 3 to 17 meters. Depth to water table, 3 to 3.60 m, hydraulic conductivity 2.45 meters per day and the general direction of flow is determined from North West to the South East. The average velocity of groundwater in the aquifer estimated as 2×2^{-10} m/d, and contamination by LNAPL phase was detected at least at 11 wells.

Conclusion: The maximum and minimum thickness of LNAPL is 115 and 0.05 cm, respectively, located at the west of the refinery. A variety of oil pollutants from gasoline and crude oil to phases with high viscosity, such as fuel oil leads to aquifer contamination. Leakage from tanks contains gasoline, diesel, kerosene and transmission channel from washing of Unit 71 to the Recycling Unit are determined as the main sources of aquifer contamination.

Keywords: LNAPL, Bandar Abbas Refinery, Oil pollution, Groundwater

1- Professor in University of Tabriz, College of natural sciences, Department of Earth Sciences
2- Student of Hydrogeology, University of Tabriz, College of natural sciences, Department of Earth Sciences
3- Student of Hydrogeology, University of Tabriz, College of natural sciences, Department of Earth Sciences
4- Environment Expert Bandar Abbas Oil Refining Company

مقدمه

توسعه صنایع مرتبط با نفت در کشورهای نفت‌خیز، سبب بروز مشکلات متعدد زیست‌محیطی برای این کشورها شده است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می باشد (۱). از منابع آلودگی نفتی می‌توان، چاه‌های نفت، مخازن زیرزمینی و سطحی، فرآورده‌های نفتی و یا لوله‌های انتقال مواد نفتی را نام برد. یکی از علل نشت مخازن را می‌توان در اثر خوردگی و پوسیدگی جداره‌های فولادی آن‌ها توسط برخی ترکیبات شیمیایی سازنده نفت مانند H_2S بیان کرد. به‌تدریج و در زمان‌های طولانی خورندگی این گاز محلول در مواد نفتی باعث می‌شود ضخامت نسبتاً زیاد جداره مخازن خورده شود و منفذی برای نشت ایجاد گردد. بخشی از این آلاینده‌ها در منطقه غیراشباع (بالای سطح ایستابی) باقی می‌مانند، بخشی هم جذب خاک شده و مابقی خود را به سطح آب زیرزمینی می‌رسانند که در این صورت به این‌گونه مواد نفتی[1] NAPL گفته می‌شود. NAPLها با توجه به چگالی نسبی آن‌ها نسبت به آب به دودسته DNAPL[2] و LNAPL[3] تقسیم‌بندی می‌شوند. DNAPL با چگالی بیشتر از آب شامل قیر، آسفالت و ترکیبات کلردار سنگین می‌باشد که پس از رسیدن به آب زیرزمینی غوطه‌ور شده و آرام‌آرام در کف سفره نشست می‌کنند. درصورتی‌که مواد نفتی سبک‌تر از آب باشند روی سطح آب شناور می‌مانند که این نوع مواد نفتی نیز از نوع LNAPL هستند و شامل نفت خام، گازوئیل، نفت سفید و بنزین می‌باشد. بخشی از ترکیبات موجود در LNAPL و DNAPL در آب حل می‌شوند ولی مواد محلول LNAPL که مواد نفتی سبک هستند بیشتر از DNAPL می باشد. از طرفی حل شدن LNAPL باعث می‌شود تا زمان ماندگاری آن در آب کمتر شود (۲).

در ایران به دلیل وجود مخازن عظیم نفت خام و نیز صنایع پایین‌دستی مرتبط نظیر پالایشگاه‌ها و مجتمع‌های پتروشیمی آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی در اثر فعالیت‌های مرتبط با صنایع نفت اجتناب‌ناپذیر می‌باشد، به‌طوری‌که در حال حاضر بسیاری از مناطق اطراف مخازن نفتی و پالایشگاه‌ها در معرض این آلودگی بوده و حتی آلوده شده‌اند. پالایشگاه‌ها به دلیل تنوع مواد تولیدی و تجهیزات، دستگاه‌ها و اتصالات متعدد یکی از منابع بالقوه آلاینده آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشند. سابقه مطالعات درزمینه‌ی آلاینده‌های نفتی در آب زیرزمینی بسیار کم بوده و عمدتاً محدود به ده سال اخیر می‌باشد.

براساس بررسی‌های انجام‌شده توسط جلالی و همکاران (۱۳۸۸) در پالایشگاه تهران با استفاده از آمار زمانی و مکانی سطح نفت و آب که در ۱۶۴ چاه پایش اندازه‌گیری شده است، هندسه و گسترش ابرآلودگی و معضلات زیست‌محیطی آن شناسایی‌شده است. با مطالعه مقاطع عرضی، نقشه‌های تراز و دیاگرام‌های سه‌بعدی سطح آب و نفت، کارایی عملیات پاکسازی که به روش پمپاژ و تصفیه انجام می‌شود، مورد ارزیابی قرارگرفته است (۳). در بررسی آلودگی آب زیرزمینی ناشی از نشت مواد نفتی از پالایشگاه شیراز با شبیه‌سازی مدل انتقال آلودگی توسط واعظی و همکاران (۲۰۱۰) و به کمک مدل BIONAPL/3D انجام گرفت. برای شبیه‌سازی انتقال BTEX در آبخوان پالایشگاه ابتدا مدل جریان توسط Modflow-2000 ساخته و پارامترهای جریان کالیبره شد، سپس مدل انتقال در حالت جریان پایدار توسط مدل عددی BIONAPL/3D اجرا گردیده است. مدل پیش‌بینی نشان می-دهد که در شرایط منبع پیوسته آلودگی و پالایش طبیعی آبخوان، ۱۱۵ سال طول خواهد کشید تا آلاینده‌های نفتی آزادشده از توده‌های جنوب منطقه به شرایط تعادلی پایدار برسند که طی آن بین گسترش ابرآلودگی و پالایش طبیعی تعادل ایجاد شود (۴).

واعظی و همکاران (۱۳۹۴) شناسایی آلودگی‌های هیدروکربنی و

1- Non aqueous Phase Liquids
2- Dense Non aqueous Phase Liquids
3- Light Non aqueous Phase Liquids

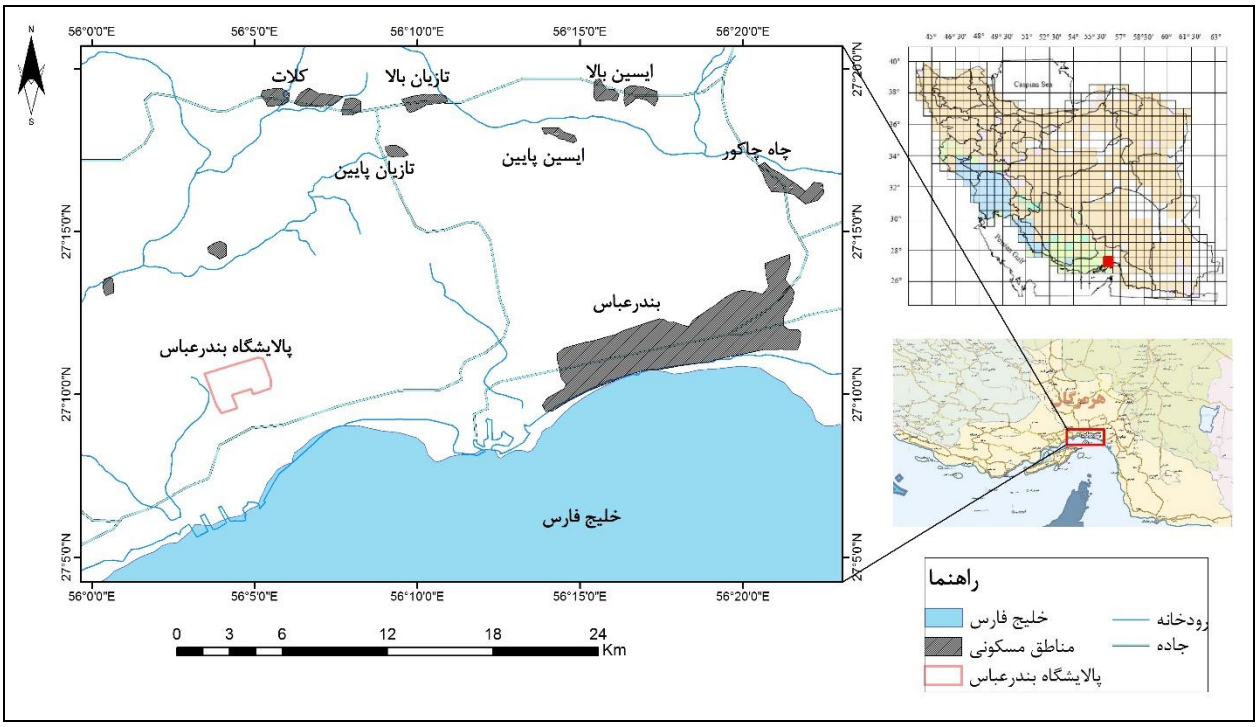
بررسی پتانسیل زیست پالایی آن‌ها در آبخوان محدوده مجتمع پتروپالایش تبریز را مطالعه کردند. در این پژوهش، وضعیت آبخوان منطقه برای تجزیه زیستی آلاینده‌های هیدروکربنی موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور از آب زیرزمینی منطقه نمونه‌برداری صورت گرفته و علاوه بر هیدروکربن‌های نفتی، پارامترهای هیدروشیمیایی، عناصر اصلی، فلزات سنگین و مواد مغذی مورد آنالیز قرار گرفت. در این بررسی قابلیت تجزیه زیستی آلاینده توسط باکتری‌ها در شرایط هوازی و بی‌هوازی، باتوجه به مقادیر به‌دست‌آمده، مشخص شد که شرایط آبخوان منطقه برای زیست پالایی آلاینده‌های نفتی به روش هوازی کاملاً مساعد بوده و می‌توان امیدوار بود که بخشی از آلاینده‌هایی که از هیدروکربن-های سبک تشکیل شده‌اند، توسط باکتری‌های موجود در آبخوان منطقه به‌طور طبیعی پاکسازی خواهند شد (۵). تفاوت DNAPL و LNAPL علاوه بر چگالی ویژه، در میزان انحلال-پذیری نیز است. میزان انحلال‌پذیری LNAPL بیشتر از DNAPL است و درنتیجه زمان ماندگاری LNAPL در محیط کمتر خواهد بود. در زون اشباع انتقال LNAPL اکثراً در جهت جریان است ولی DNAPL در خلاف جهت گرادیان هیدرولیکی و جهت جریان می‌تواند حرکت کند. باید این نکته را خاطرنشان کرد که LNAPL و DNAPL تا یک محدوده خاصی گسترش دارند ولی ابرآلودگی۱ حاصل از این دو گسترش محدودی ندارد (۶).

در این پژوهش گسترش آلاینده‌های نفتی دارای فاز آزاد (LNAPL) در محدوده پالایشگاه بندرعباس مورد بررسی قرار گرفت و علاوه بر تعیین ضخامت ماده نفتی موجود بر روی سطح ایستابی منشأ احتمالی نشت برای توده‌های نفتی تعیین گردید.

روش بررسی

پالایشگاه نفت بندرعباس در فضایی به وسعت تقریبی ۷۰۰ هکتار در کرانه شمالی آب‌های خلیج‌فارس و غرب شهر بندرعباس احداث و در سال ۱۳۷۶ مورد بهره‌برداری قرار گرفت (شکل ۱). این مجموعه به‌منظور تأمین بخشی از فرآورده‌های نفتی موردنیاز کشور و امکان صدور فرآورده‌های مازاد تأسیس شده است. این پالایشگاه هم‌اکنون با ظرفیت ۳۵۰ هزار بشکه در روز مشغول فعالیت بوده و خوراک روزانه آن شامل ۳۰۰ هزار بشکه نفت خام سنگین، ۳۰ هزار بشکه میعانات گازی استحصالی از منابع گازی سرخون و ۲۰ هزار بشکه نفت خام سبک جزیره هنگام است و بیشترین فرآورده‌های میان تقطیر را تولید می‌کند. در حال حاضر حدود ۱۸ درصد پالایش نفت خام داخل کشور و به‌تبع آن تولید فرآورده‌های نفتی موردنیاز کشور در پالایشگاه بندرعباس صورت می‌گیرد.

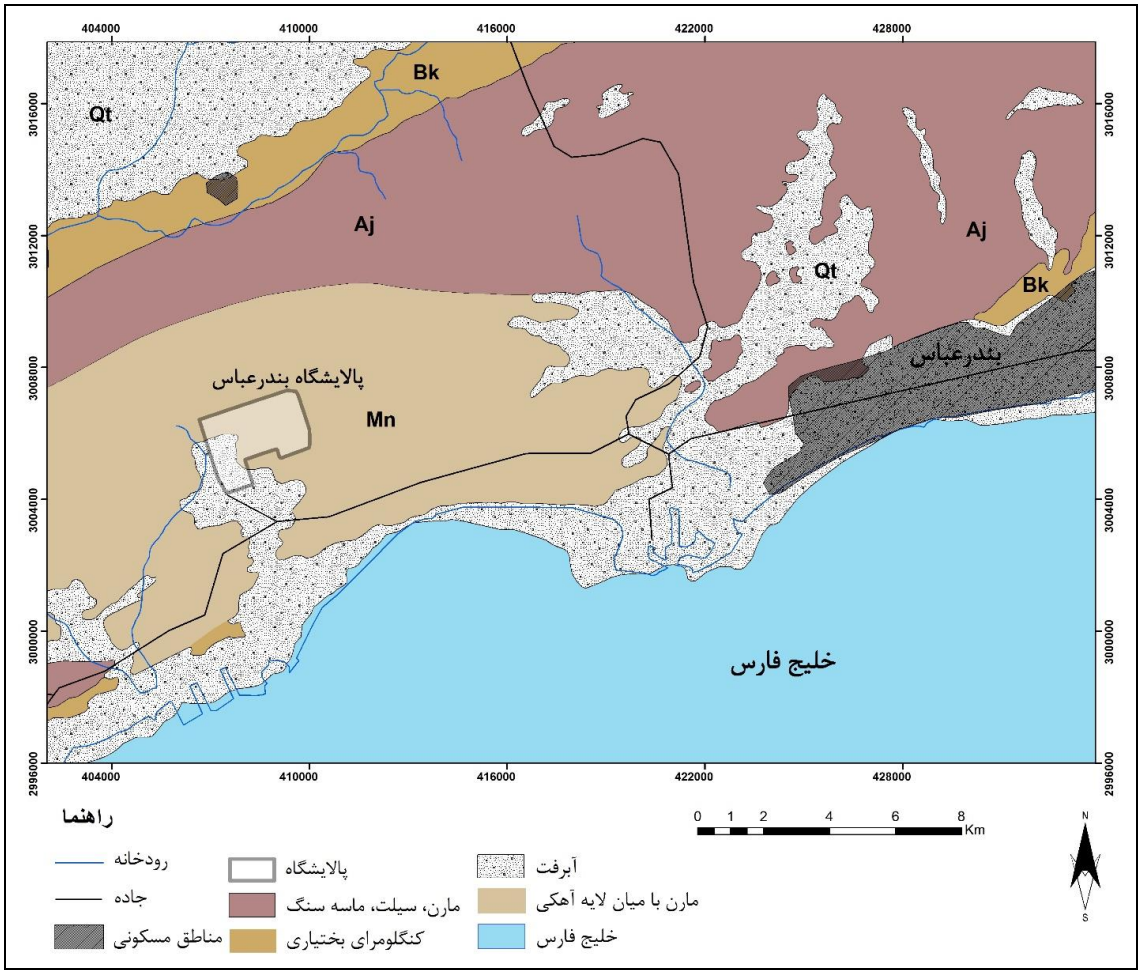
1- Plume



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

براساس اطلاعات اخذشده از سازمان هواشناسی استان بر مبنای ایستگاه بندرعباس، سردترین و گرم‌ترین ماه سال به ترتیب دی و خرداد می‌باشد. اقلیم منطقه به روش دومارتن خشک و براساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای شرایط اقلیمی بیابانی گرم میانه می‌باشد.

واحدهای زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه شامل رسوبات آبرفتی دانه‌ریز تا دانه‌درشت عهد حاضر (Qt)، مارن خاکستری و آهک‌های رسی سازند میشان (Mn) و سازند بختیاری (Bk) می‌باشد که ویژگی رسوبات آبرفتی و کوهپایه‌ای حاصل از فرسایش ارتفاعات را دارد و بیش‌تر شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ آهکی است که گاهی به‌صورت هم‌شیب و گاهی دگر شیب بر روی سازندهای کهن‌تر نهشته شده است. از واحدهای دیگر موجود می‌توان به سازند آغاجاری (Aj) که از ماسه‌سنگ‌های آهک‌دار قهوه‌ای-خاکستری، رگه‌های گچ، مارن‌های قرمز و سیلتستون تشکیل‌شده است (۷ و ۸) و سری هرمز که در توالی چرخه‌ای زیرین از نمک‌های رنگین بین لایه‌ای با دولومیت‌های تیره و ماسه‌سنگ و سیلتستون یا مارن تشکیل‌شده است و حجم عظیمی از نمک‌های یکنواخت بخش بالایی سازند را تشکیل می‌دهد می‌باشد (۹). جهت کلی شیب زمین طبیعی از سمت شمال و شمال شرقی به سمت جنوب و جنوب غربی می‌باشد (شکل ۲).



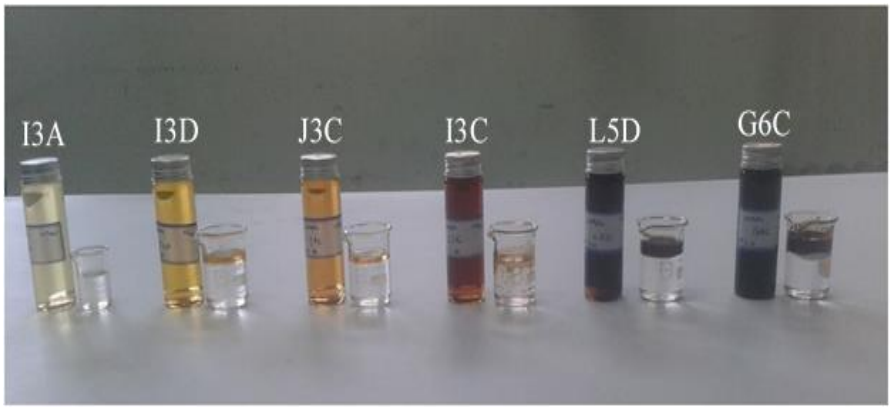
شکل ۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

براساس گزارش‌های اولیه مواد نفتی که در بعضی از چاه‌های پایش پالایشگاه رؤیت شده است، نشان می‌دهد آبخوان منطقه بر اثر نشت مواد نفتی از مخازن و تأسیسات آن آلوده شده است. هدف از انجام این پژوهش، انجام مطالعات صحرایی و هیدروژئولوژیکی برای شناخت نوع آلاینده در آبخوان منطقه و تعیین منشأ تقریبی انتشار آلودگی می‌باشد. به‌منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژی آبخوان پالایشگاه و تعیین گسترش محدوده LNAPL شش حلقه چاه در محدوده یکی از پلوم‌های آلودگی حفر گردید. این چاه‌ها به روش روتاری و به قطر ۵ اینچ حفاری و با لوله ۴ اینچ تجهیز گردید. عمق حفاری ۱۰ متر در هر چاه بوده و فاصله جدار چاه و لوله گراول پک ریخته شد. لوله‌های استفاده شده از جنس PVC بوده و در قسمت لایه آبدار اسکرین گذاری گردید. از هر پنج متر حفاری نیز یک مغزه حفاری برای تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی و بررسی وضعیت جنس ذرات آبخوان به آزمایشگاه ارسال گردید.

بررسی نحوه حرکت، میزان پخش و گسترش، جهت حرکت آلاینده‌ها و غیره از مطالعات موردنیاز اولیه برای شناخت و پاکسازی این مواد می‌باشد. از آنجایی‌که حرکت آلاینده‌ها به‌طور عمده همراه با حرکت آب زیرزمینی بوده لذا تعیین جهت جریان آب زیرزمینی از ملزومات مطالعات مربوط به شناخت و پاکسازی آلاینده‌های نفتی می‌باشد. برای تعیین جهت جریان، داده‌های سطح ایستابی در دو

فصل تر و خشک به ترتیب اسفند ۹۴ و شهریور ۹۵ در تمامی چاه‌ها اندازه‌گیری و خطوط هم‌تراز سطح ایستابی و خطوط جریان ترسیم و جهت جریان آب زیرزمینی تعیین گردید.

به‌منظور تعیین وضعیت آلودگی چاه‌های پایش به مواد هیدروکربنی، نمونه‌برداری آب زیرزمینی در شهریور ۹۵ انجام شد و نمونه‌ها برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال گردید. همچنین ضخامت فاز LNAPL در چاه‌های آلوده اندازه‌گیری و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. از هرکدام از چاه‌های دارای فاز LNAPL نمونه برداشته شد و برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال شد (شکل ۳).



شکل ۳- نمونه‌های برداشت‌شده از فاز LNAPL در چاه‌های آلوده

به‌منظور تعیین منشأ توده‌های آلودگی موجود از اطلاعات میدانی و بررسی وضعیت آلودگی چاه‌ها، اطلاعات دریافتی از پالایشگاه و نیز اطلاعات حاصل از نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها استفاده شد. از میان توده‌های آلودگی، ابرآلودگی موجود در اطراف چاه L5D به‌عنوان هدف پاکسازی در این پژوهش قرار گرفت لذا برای تعیین منشأ آلودگی به بررسی دقیق وضعیت آب زیرزمینی در این محدوده پرداخته شد. با توجه به شبکه پایش کامل و مناسب در محدوده پالایشگاه اقدام به نمونه‌گیری از چند چاه در بالادست و پایین‌دست واحد مشکوک به آلایندگی شد و نتایج آنالیز موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی وضعیت آلودگی در چاه‌های مختلف و تعیین ترکیب آلاینده‌های هیدروکربنی در هرکدام از چاه‌ها، آنالیز مواد هیدروکربنی به روش کروماتوگرافی گازی (Gas Chromatography) با شناساگر جرمی (Mass Spectrometry) صورت گرفت. دستگاه GC-Mass مدل GC Agilent 6890N, MS Agilent 5973N ساخت شرکت Agilent آمریکا با شناساگر (Detector) Mass Spectrometry بوده و ستون استفاده‌شده در دستگاه مدل HP 5M/ 190015-433 بوده و اندازه ذرات ماده تشکیل‌دهنده فاز ثابت ۰/۲۵ میکرومتر، قطر ستون ۰/۲۵ میلی‌متر، طول آن ۳۰ متر و گاز حامل استفاده‌شده برای انجام آزمایش هلیوم بود.

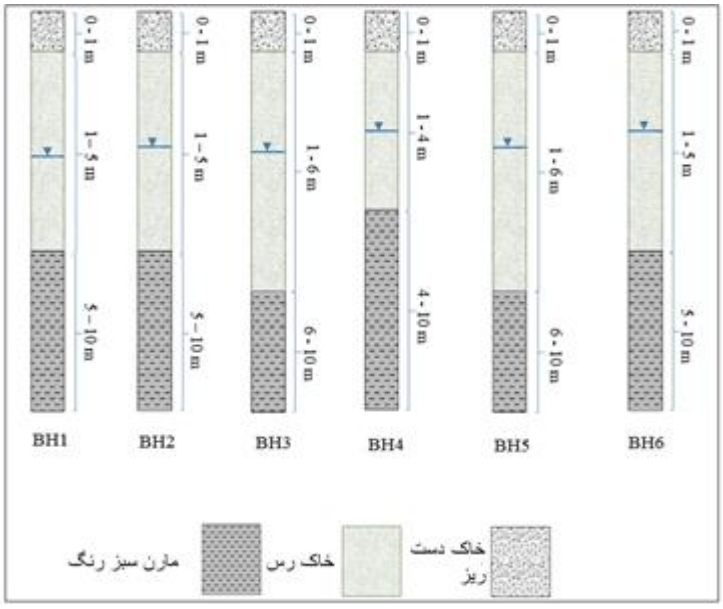
برای استخراج آنالیت از روش استخراج مایع مایع استفاده شد. LLE (Liquid–liquid extraction) متداول‌ترین روش استخراج بوده و هدف از آن انتقال مواد حل‌شده موردنظر از یک فاز مایع به فاز مایع دیگری است که غیرقابل امتزاج هستند و عمدتاً مواد حل‌شده از یک محلول آبی با حجم بیشتر به درون یک حلال آلی با حجم کمتر استخراج می‌شوند. معمولاً LLE در یک قیف جداکننده انجام می‌شود، به‌طوری‌که پس از انجام استخراج جداسازی دو مایع امکان‌پذیر است. در این پژوهش نیز به‌منظور استخراج آنالیت، با استفاده از روش LLE در هر نمونه، سه میلی‌لیتر حلال دی کلرو متان مرک با سه میلی‌لیتر نمونه در

یک شیشه پنی‌سیلین به مدت ۱۰ ساعت شیک و ۱۲ ساعت در حالت استراحت قرار داده شد تا فرصت کافی برای جدا شدن دو فاز وجود داشته باشد و آنالیت در حلال تغلیظ گردد. سپس مقدار ۱ میکرولیتر از نمونه تغلیظ شده برداشت و به دستگاه تزریق شد. برنامه دمایی به‌کاربرده شده در این آنالیز، دمای اولیه ۴۰ درجه سانتی‌گراد بوده و به مدت ۳۰ ثانیه در این دما باقی می‌ماند. سپس با نرخ ۵ درجه بر دقیقه به دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد رسیده به مدت ۳۰ ثانیه و درنهایت با نرخ ۱۵ درجه بر دقیقه در دمای ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ دقیقه باقی می‌ماند.

یافته‌ها

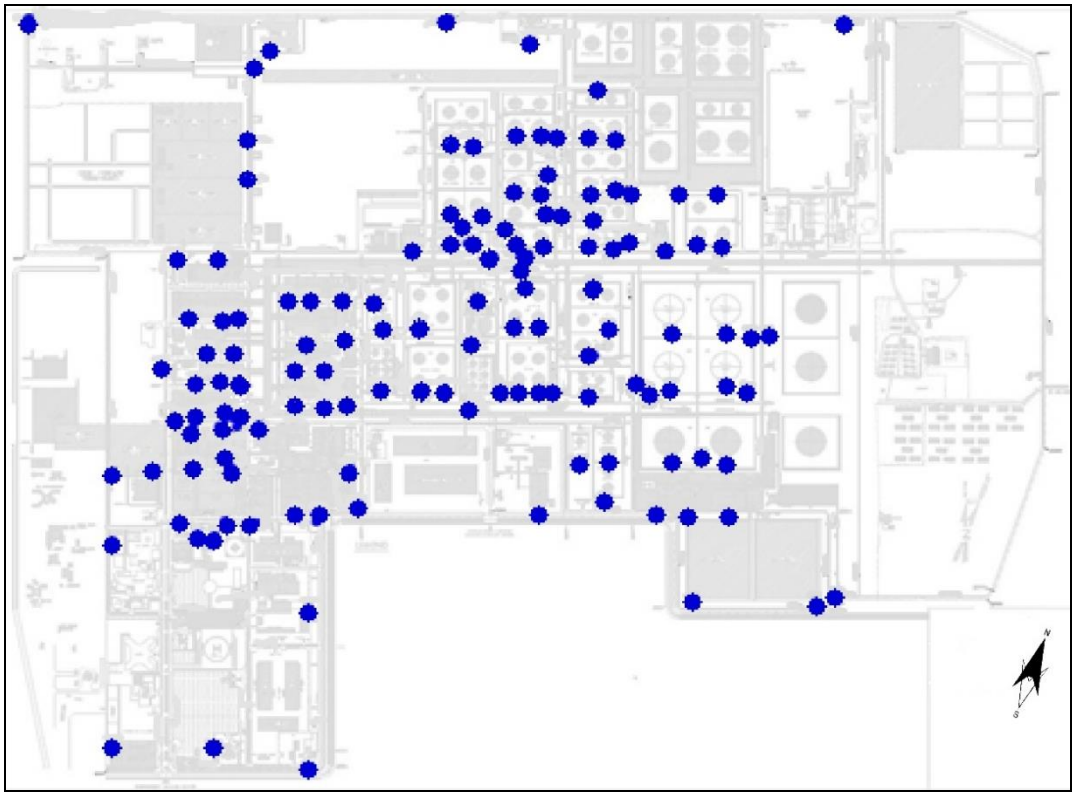
هیدروژئولوژی منطقه

نتایج حفاری نشان داد که ۱ متر بالایی از نوع خاک دست ریز، از ۱ تا ۵ متری رس و از ۵ تا ۱۰ متری جنس لایه‌ها مارن سبزرنگ می‌باشد. همچنین عمق برخورد به سطح آب از ۳ متر تا ۳/۶۰ متر متغیر می‌باشد. براساس مغزه‌های حفاری به‌دست‌آمده میزان هدایت هیدرولیکی در آبخوان محدوده پالایشگاه ۲/۴۵ متر بر روز برآورد گردید. آبخوان پالایشگاه یک آبخوان آزاد با بدنه بسیار دانه‌ریز در حد رس و مارن می‌باشد (شکل ۴). در بررسی‌های ژئوفیزیک ضخامت رسوبات آبرفتی و مارن‌های هوازده که دارای تخلخل مؤثر می‌باشند تا سنگ کف حداکثر ۱۷ متر بوده و حداقل در ۳ متری سطح زمین ظاهر می‌شود.



شکل ۴- لاگ چاه‌های حفاری‌شده

تعداد ۱۶۰ چاه در محدوده سایت پالایشگاه بندرعباس موجود است که عمق آن‌ها از ۱۰ تا ۲۰ متر با قطر دهانه ۴ اینچ می‌باشد. در زمان نمونه‌برداری از مجموع ۱۶۰ چاه فوق‌الذکر تعدادی خشک‌شده و یا آسیب‌دیده بود و در مجموع ۱۴۳ چاه برای عملیات پایش آب زیرزمینی و نمونه‌برداری قابل استفاده بود (شکل ۵).

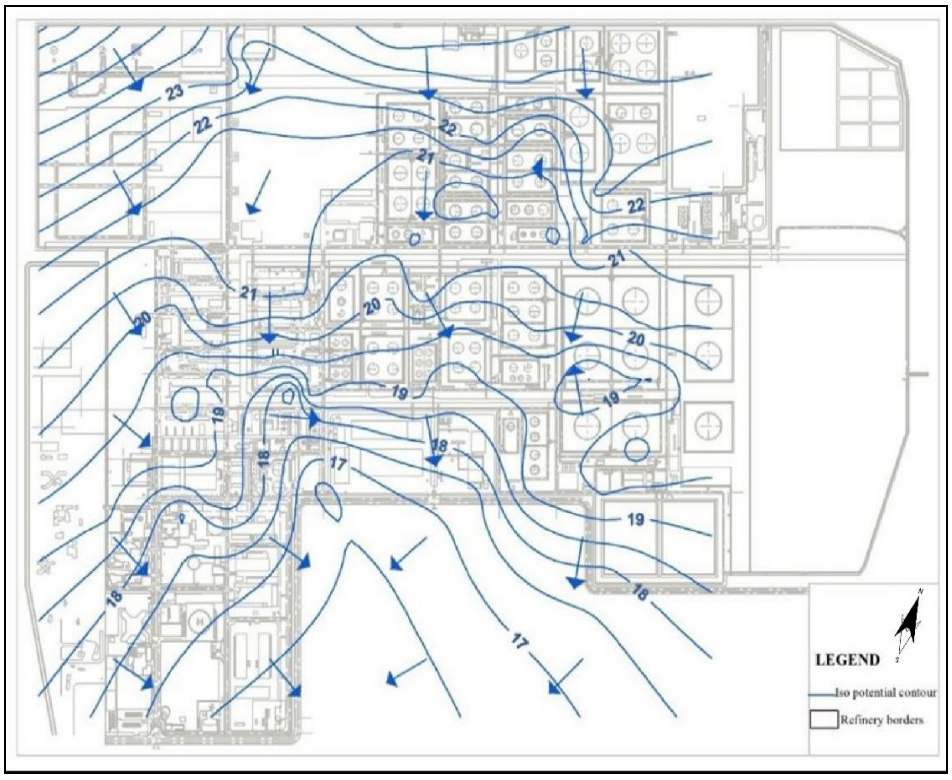


شکل ۵- موقعیت چاه‌های موجود در محدوده پالایشگاه

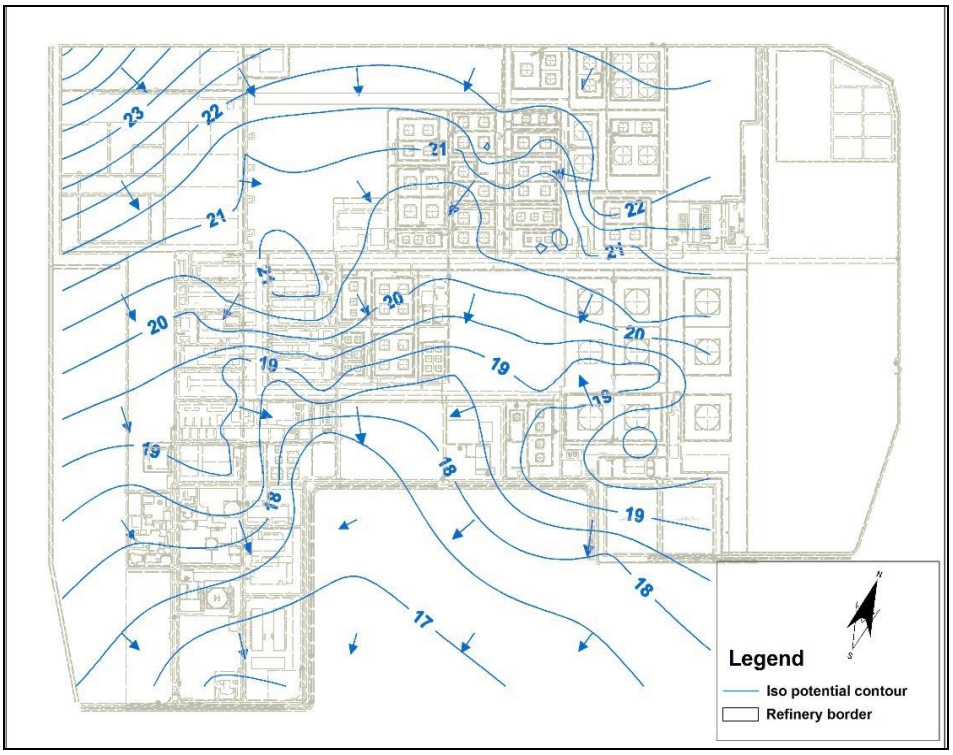
جهت عمومی جریان از شمال غرب به جنوب شرق پالایشگاه و به‌طرف خلیج‌فارس می‌باشد (شکل ۶). با توجه به متوسط گرادیان هیدرولیکی در منطقه و هدایت هیدرولیکی معادل ۲/۴۵ m/d، میزان سرعت متوسط آب زیرزمینی در آبخوان ۲×۱۰^{-۲} m/d به دست آمد. وجود برخی نقاط تخلیه آب زیرزمینی در مرکز و جنوب پالایشگاه به دو دلیل ذیل می‌باشد:

الف) به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی در محدوده پالایشگاه، برخی نقاط میزان تبخیر از آبخوان بالا بوده و منجر به ایجاد افت سطح ایستابی شده است.

ب) شبکه‌ای از زهکش‌ها در داخل و اطراف پالایشگاه به‌منظور زهکشی آبخوان و پایین انداختن سطح آب زیرزمینی احداث شده است.



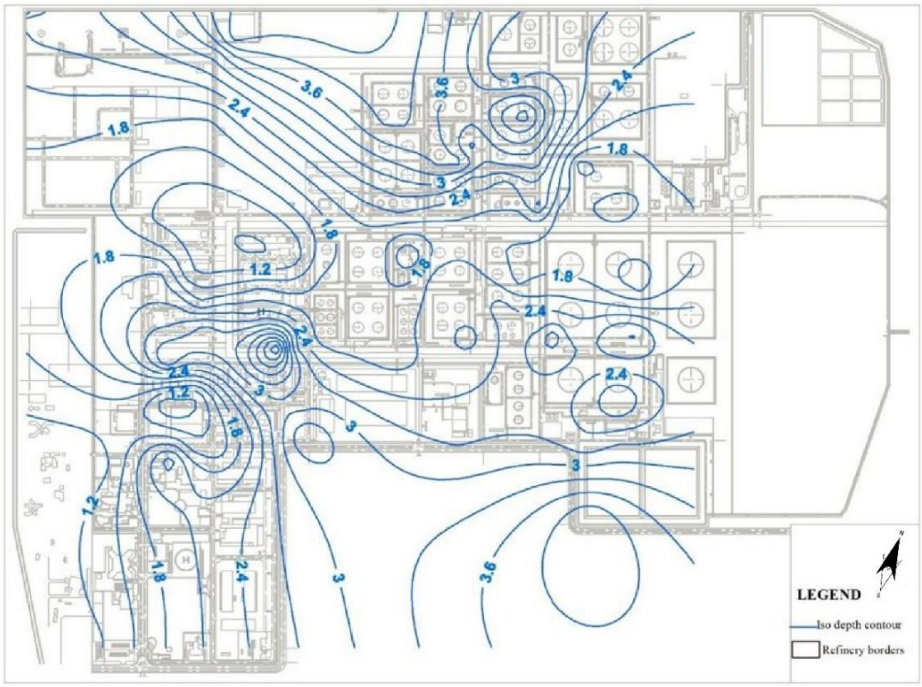
شکل ۶- نقشه هم‌تراز سطح ایستابی (اسفند ۹۴)



شکل ۷- نقشه هم‌تراز سطح ایستابی (شهریور ۹۵)

در بحث مربوط به رسیدن یا عدم رسیدن آلاینده به سطح آب زیرزمینی عمق آب زیرزمینی با زمان رسید رابطه عکس دارد به‌طوری‌که هرچقدر عمق آب زیرزمینی کم باشد مواد آلاینده سریع‌تر به آب زیرزمینی رسیده و باعث آلودگی آب می‌شوند و بالعکس. پس در مناطقی که عمق آب کم باشد آسیب‌پذیری آبخوان بالا می‌رود و آلاینده‌ها زودتر به سطح ایستابی رسیده و باعث آلودگی آبخوان می‌شوند؛ اما در آبخوان‌های عمیق آلاینده در مسیر حرکت در محیط متخلخل سرگذشت نامشخص داشته و در طی مسیر دستخوش تغییرات و سرنوشت اتفاقات محیط متخلخل می‌باشد. همچنین عمق آبخوان در انتخاب روش پاکسازی می‌تواند مؤثر باشد به‌طور مثال در آبخوان‌های کم‌عمق امکان اجرای دیواره‌های نفوذناپذیر جهت پاکسازی مواد نفتی وجود دارد اما در آبخوان عمیق امکان این کار وجود ندارد.

نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی نشان می‌دهد که آبخوان پالایشگاه بندرعباس کم‌عمق بوده و عمق آب عموماً در تمامی نقاط محدوده کمتر از ۵ متر می‌باشد، لذا آبخوان ازنظر زمان رسید آلاینده به آب زیرزمینی دارای ریسک بالا بوده و امکان آلوده شدن آب توسط مواد نفتی بسیار زیاد می‌باشد. از طرف دیگر به دلیل دانه‌ریز بودن آبخوان و احتمالاً حاشیه موییینگی بالای سطح ایستابی، تمام آبخوان پالایشگاه در معرض تبخیر آب زیرزمینی از سطح می‌باشد (شکل ۸).



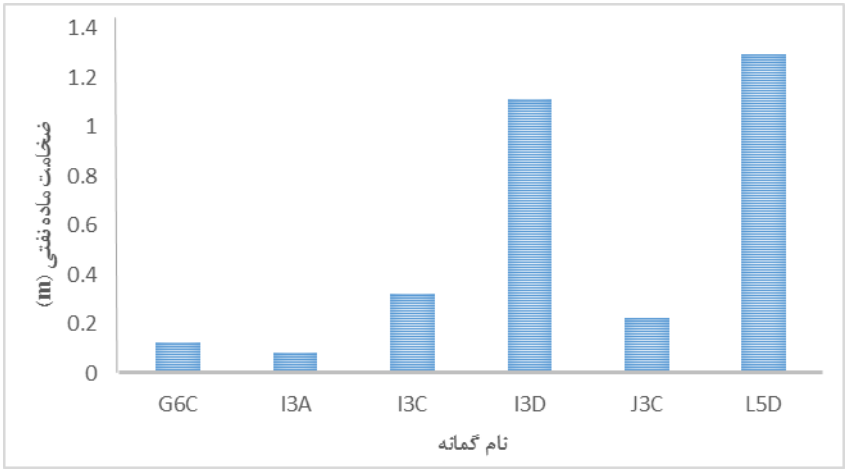
شکل ۸- نقشه هم عمق آب زیرزمینی

ضخامت فاز LNAPL

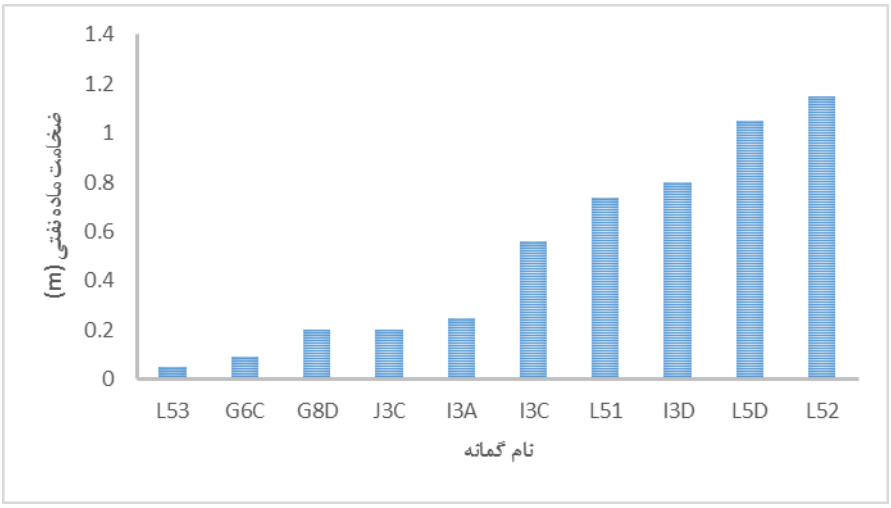
در بررسی چاه‌های پایش محدوده، چاه‌های آلوده به فاز نفتی مشخص شدند و موقعیت آن‌ها رو نقشه پیاده شد (شکل ۹). در دو نوبت و به فاصله ده ماه (اسفند ۹۴ و دی‌ماه ۹۵) سطح برخورد به آب زیرزمینی و ضخامت LNAPL در چاه‌های موجود تعیین گردید. در اندازه‌گیری اول در ۶ چاه پایش فاز LNAPL مشاهده گردید که ضخامت ماده نفتی در شکل ۱۰ آورده شده است.

اندازه‌گیری دوم در چاه‌های پایش جدیدی که طی این پژوهش حفر گردیدند نیز صورت گرفت که درمجموع تعداد چاه پایش دارای LNAPL به ۱۱ چاه افزایش یافت (شکل ۱۱). مقایسه نتایج دو دوره اندازه‌گیری نشان داد که ضخامت در چاه‌های پایش I3A, I3C, I3D تا حدی تغییر کرده و در چاه پایش G6C، ۲ سانتی‌متر و در چاه پایش L5D، ۲۴ سانتی‌متر کاهش داشته است. همچنین ضخامت فاز LNAPL در چاه‌های پایش حفاری‌شده جدید L53, L52, L51 به ترتیب ۰/۷۴ و ۱/۱۵ و ۰/۰۵ متر می‌باشد (شکل ۱۱). شکل ۱۲ موقعیت توده‌های آلودگی موجود در محدوده پالایشگاه را براساس نتایج حاصل از بررسی آلودگی مواد هیدروکربنی را نشان می‌دهد. طبق شکل، حداقل ۸ توده LNAPL در محدوده پالایشگاه شناسایی گردید.

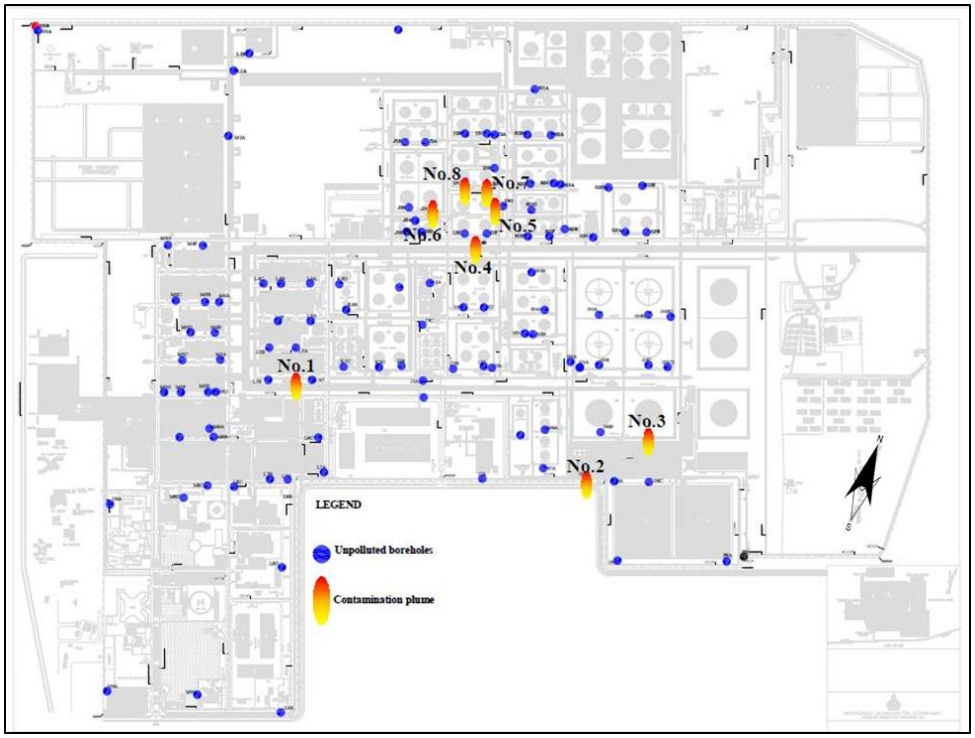
شکل ۹- موقعیت چاه‌های پایش آلوده



شکل ۱۰- ضخامت لایه نفتی در چاه‌های دارای فاز LNAPL (اسفند ۹۴)



شکل ۱۱- ضخامت لایه نفتی در چاه‌های دارای فاز LNAPL (دی‌ماه ۹۵)

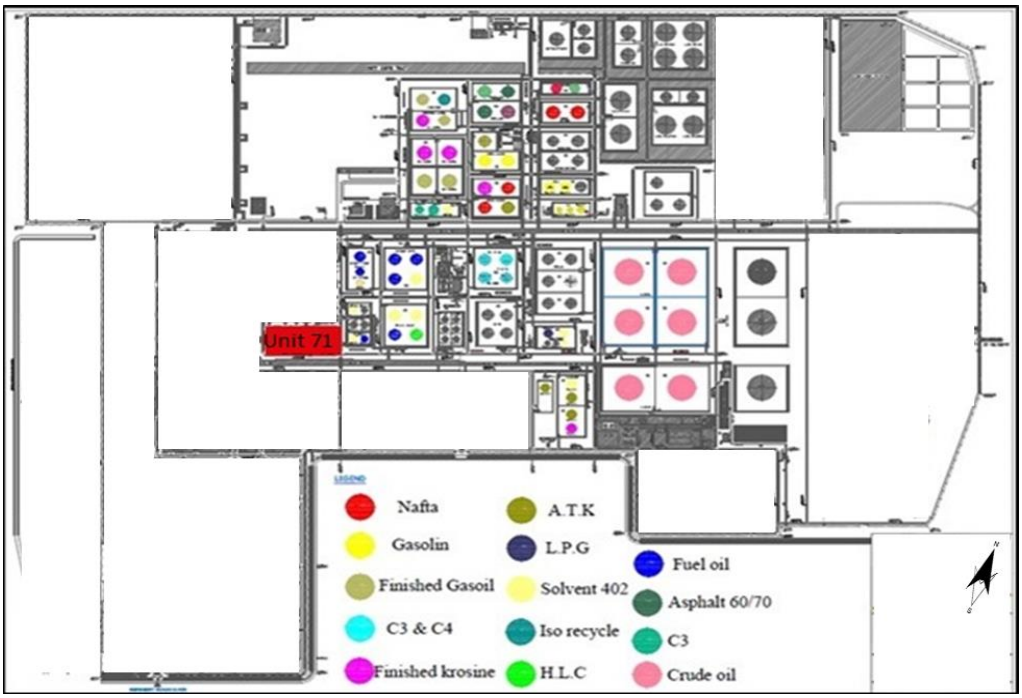


شکل ۱۲- موقعیت توده‌های آلودگی موجود در پالایشگاه

تعیین منشأ آلاینده‌های هیدروکربنی در محدوده پالایشگاه

به‌منظور تعیین منشأ و نوع آلاینده موجود در چاه‌های پایش و پیدا کردن منشأ آلودگی بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی صورت گرفت. با استفاده از اطلاعات دریافتی از پالایشگاه، محتوای مخازن، نقشه جهت جریان آب زیرزمینی، نمونه‌برداری و تعیین ضخامت فاز LNAPL در چاه‌های پایش و بررسی سرتاسری

چاه‌های موجود در محدوده، آنالیز مواد هیدروکربنی و نقشه پراکندگی ترکیبات هیدروکربنی در پالایشگاه و نیز کروماتوگرام حاصل از آنالیز فاز محلول در چاه‌های آلوده استفاده شد. بدین منظور ابتدا نقشه محتوای مخازن تهیه گردید (۱۳).

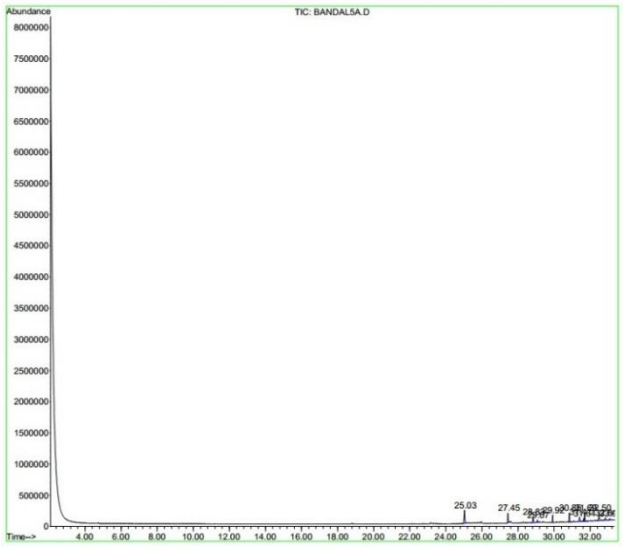


شکل ۱۳- نقشه محتوی مخازن پالایشگاه

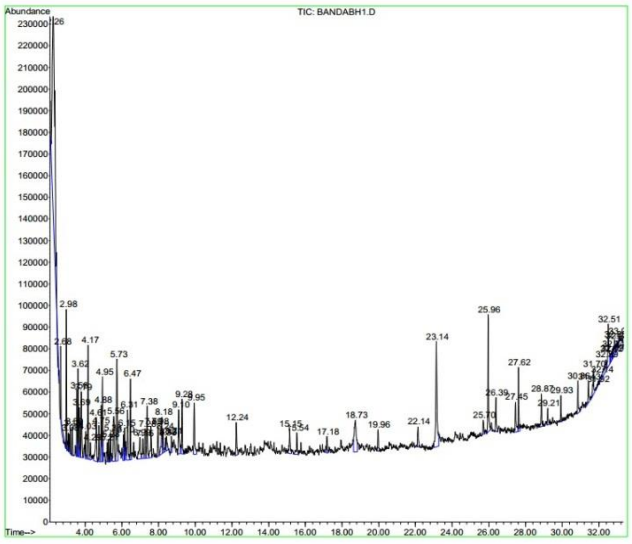
تعیین منشأ، با توجه به پوشش سرتاسری محدوده توسط چاه‌های پایش و امکان پایش تمامی سایت به‌طور کامل، با بررسی وجود و یا عدم وجود فاز LNAPL در هرکدام از چاه‌ها آغاز گردید.

با توجه به جهت جریان در پالایشگاه (شمال غرب-جنوب شرق) منشأ از واحدها و تأسیسات موجود در شمال چاه‌های پایش و بالادست جریان خواهد بود. یکی از توده‌های نفتی به‌عنوان پایلوت انتخاب گردید تا منشأ آن با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور توده شماره ۱ (شکل ۱۲) که از بقیه توده‌ها مجزا بوده و به احتمال زیاد تداخلی با بقیه ندارد انتخاب گردید. در بالادست این توده دو واحد پالایش قراردارد یکی واحد پالایش گاز مایع که در فاصله ۲۵۰ متری شمال توده قرارگرفته است و نوع ماده فرآوری شده در این واحد با آلاینده موجود در توده شماره یک کاملاً متفاوت می باشد. منشأ احتمالی دوم برای این توده واحد پالایش ۷۱ است که دقیقاً در بالادست این توده قرارگرفته است. برای بررسی احتمال نشت از این واحد، ابتدا از دو چاه یکی در بالادست و دیگری در پایین‌دست واحد ۷۱ نمونه آب زیرزمینی آلوده به فاز محلول نمونه تهیه و برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال گردید. کروماتوگرام این دو نمونه در شکل ۱۴ و ۱۵ آورده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده در چاه بالادست (L5A) میزان آلودگی بسیار ناچیز بوده درحالی‌که چاه L51 واقع در جنوب واحد شدیداً آلوده بوده و ۶۹ ترکیب نفتی در آن آشکار شده است. لذا نشت از حدفاصل بین این دو چاه حاصل شده که با توجه به مطالعات تفصیلی و بررسی‌های به عمل آمده از وضعیت تأسیسات موجود در این محدوده منشأ نشت کانال انتقال مواد در جنوب واحد ۷۱ و شمال چاه L5D تشخیص داده شد. برای اثبات این موضوع با نمونه‌برداری از فاز LNAPL از

چاه‌های L5D و L51 و L52 و کانال انتقال پساب نفتی جنوب واحد (شکل ۱۶) نتایج آنالیز آن‌ها و کرماتوگرام حاصل مورد تفسیر قرار گرفت. نتایج حاصل تطابق کامل کروماتوگرام چاه‌های پایش را نشان داد و تطبیق ترکیبات موجود در چاه‌های محدوده ابر آلودگی شماره ۱ مؤید یکسان بودن نوع آلاینده موجود در این چاه‌ها و درنتیجه منشأ یکسان آن‌ها می‌باشد. مطابقت کروماتوگرام چاه‌های پایش با کروماتوگرام مواد نفتی کانال انتقال پساب (شکل ۱۷) نشان داد که کروماتوگرام حاصل با چاه‌های پایش شباهت زیادی داشته و اکثر ترکیبات موجود در کانال با ترکیبات چاه‌های پایش همخوانی دارد. البته غلظت‌های این دو نمونه به دلیل فرآیندهایی نظیر رقیق‌شدگی و جذب و فراریت می‌تواند لزوماً یکسان نباشد.

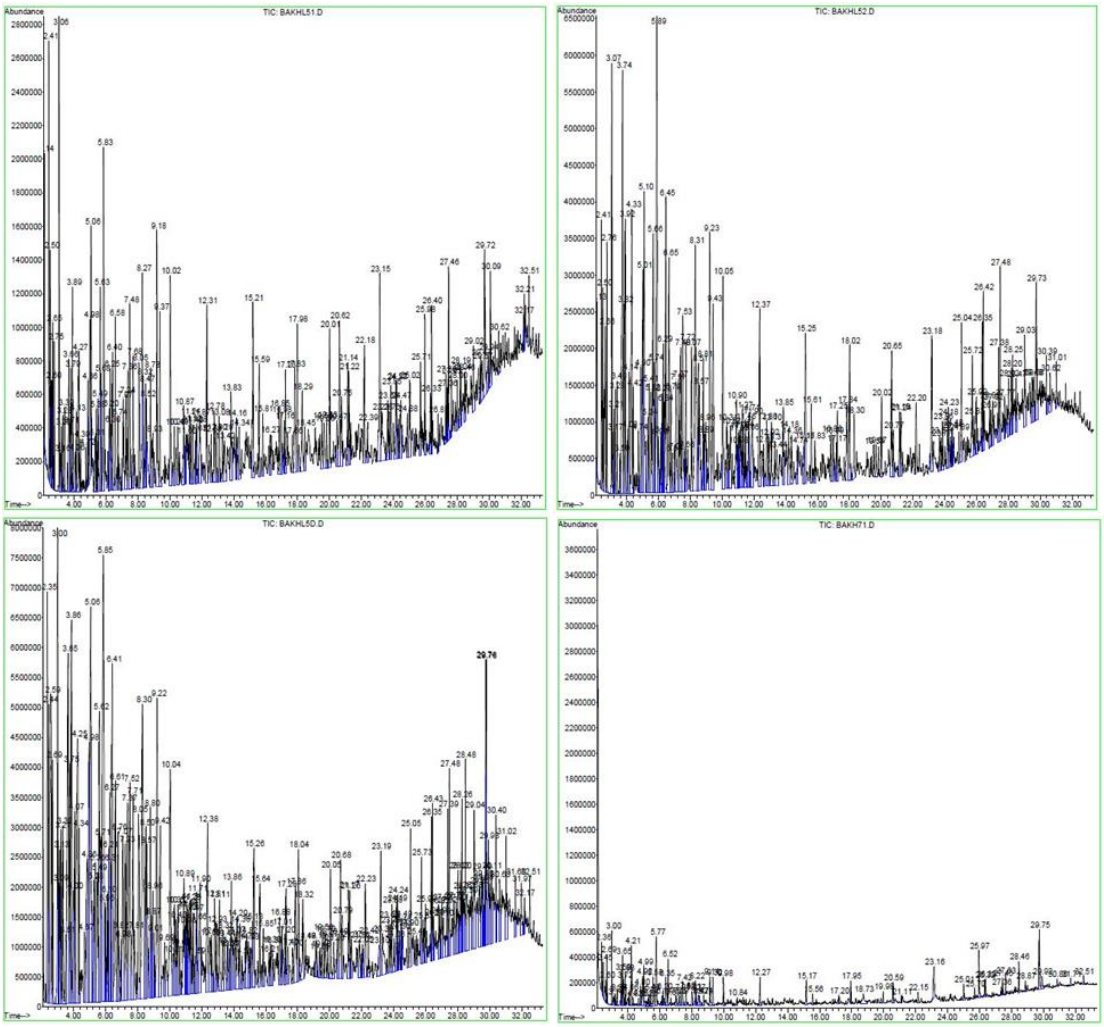


شکل ۱۴- کروماتوگرام آنالیز ترکیبات هیدروکربنی در چاه L5A (بالادست واحد ۷۱)



شکل ۱۵- کروماتوگرام آنالیز مواد هیدروکربنی چاه L51 (پایین‌دست واحد ۷۱)

شکل ۱۶- نمونه‌های برداشتی از چاه L5D (سمت چپ) و کانال انتقال پساب واحد ۷۱ (سمت راست)



شکل ۱۷- کروماتوگرام چاه‌های محدوده توده شماره ۱ و کانال انتقال پساب جنوب واحد ۷۱

در قسمت جنوب شرق محدوده پالایشگاه، چاه G8D واقع در جنوب حوضچه بازیافت، دارای فاز LNAPL بوده و چاه‌های G6B و H6A و H7A در بالادست آن عاری از آلودگی بوده، تطابق ظاهری ماده نفتی موجود در چاه و حوضچه و بررسی ویژگی‌های ظاهری آن‌ها شباهت بین این دو را نشان داد، لذا حوضچه بازیافت در جنوب شرق پالایشگاه واحد آلاینده شماره ۲ شناخته شد. در مورد توده شماره ۳ و با توجه به‌قرارگیری چاه آلوده G6C در جنوب مخزن نفت خام و پایین‌دست جریان و تمیز بودن چاه G5C و G5B در بالادست مخزن و نیز عدم وجود تأسیساتی غیر از مخازن نفت خام در این محدوده، واحد آلاینده، مخزن نفت خام شماره ۲۰۰۰۰۶ تشخیص داده شد. منشأ آلودگی چاه‌های I3D و I3C و I3A و I4B در جنوب مخازن بنزین با توجه به تمیز بودن چاه‌های پایش در بالادست و اطراف آن‌ها، مخازن بنزین تشخیص داده شد. منشأ آلاینده موجود در چاه J3C با توجه به قرارگیری این چاه در جنوب مخزن ۲۰۱۰۵ که حاوی نفتا می‌باشد و با توجه به تمیز بودن چاه‌های J2A و J2B در بالادست، مخازن نفتا تشخیص داده شد.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی مشخصات هیدروژئولوژیک منطقه موردمطالعه نشان داد جهت جریان در پالایشگاه بندرعباس از شمال غرب به جنوب شرق پالایشگاه بوده و عمق آب زیرزمینی در تمامی چاه‌های موجود کمتر از ۵ متر بوده که احتمال ورود آلاینده‌ها به سطح آب زیرزمینی را چندین برابر افزایش می‌دهد. همچنین نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری از چاه‌ها نشان داد که در ۱۱ چاه فاز LNAPL وجود داشته و در ۶ چاه نیز مشخصات فیزیکی آب مثل بو و رنگ و غیره نشان از وجود آلاینده در این چاه‌ها دارد. با توجه به اینکه در چاه‌های I3D, I3C, I3A آلودگی دیده شده و در پایین‌دست مخازن بنزین قرار دارند از نوع بنزین، چاه J3C در پایین‌دست مخازن نفتا، آلاینده از نوع نفتا، چاه G6C در جنوب مخازن نفت خام از این نوع بوده، چاه G8D در پایین‌دست حوضچه بازیافت، آلاینده از نوع Crude Oil و ناشی از نشت از کف حوضچه می‌باشد و چاه L5D در پایین‌دست واحد پالایش نفت خام قرار دارد از نوع نفت خام و احتمالاً ناشی از عملیات Overhaul و تخلیه مواد نفتی به داخل کانال‌های زیرزمینی به سمت محل بازیافت و نشت احتمالی مواد از این کانال‌ها به داخل زمین می‌باشد. نتایج همچنین وجود یک پلوم بزرگ در محدوده مخازن بنزین، یک پلوم در بخش تأسیسات پالایش نفت خام، یک پلوم در بخش بازیافت مواد نفتی را نشان می‌دهد. ضخامت زیاد ماده نفتی بر روی سطح ایستابی در برخی چاه‌ها که به بیش از یک متر نیز می‌رسد انجام عملیات پاکسازی را اجتناب‌ناپذیر می‌کند ولی قبل از آن منشأ نشت آلاینده‌ها بایستی با دقت تعیین گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب تشکر عمیق خود را از شرکت پالایش نفت بندرعباس به دلیل حمایت مالی از این پروژه و همکاریهای بی شائبه که در طول انجام پژوهش انجام دارند، ابراز می دارند.

منابع

1- Kharone, M, Pauss, A. And Lebeault, JM. 2001. Aerobic Biodegradation of oxygenate Mixture: ETBE, MTBE and TAME in an up flow Fixed-Bed Reactor. Wat. Res; Vol 35, No.7, pp: 1665-1674

2- Todd, David K, and Larry W. Mays. Groundwater hydrology edition. Wiley, New Jersey, 2005.

۳- جلالی، م. سامانی، ن. رضایی، م.، پایش نشست مواد نفتی و آلودگی آب‌وخاک در پالایشگاه تهران، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب، ۱۳۸۸.

۴- واعظی، ع. زارعی، م. رئیسی، ع. J, Molson, J, Barker، شبیه‌سازی عددی انتقال و رفتار BTEX آزادشده از شش توده LNAPL در یک آبخوان آبرفتی، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۱۳۸۹.

۵- واعظی، ع. صفری، ف. اصغری کلجاهی، الف. شناسایی آلودگی‌های هیدروکربنی و بررسی پتانسیل زیست پالایی آن‌ها در آبخوان محدوده مجتمع پتروپالایش تبریز، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، پاییز ۱۳۹۴، شماره ۱۷.

6- Fetter, C.W. 1999. Contaminant hydrogeology (Vol. 500). New Jersey: Prentice hall.

۷- آقانباتی سید علی، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۵، ص ۴۰۷.

۸- درویش زاده علی، زمین‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۱۳۸۲، ص ۲۲۵.

9- Talbot, C.J. and M. Alavi 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros. In, G.I. Alsop, D.J. Blundell and I. Davison (Eds.), Salt Tectonics. Geological Society, London, Special Publication no. 100, p. 89-109.