علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره دو، اردیبهشت ماه ۹۸

شبیه سازی عددی انتقال آلاینده‌های نفتی در آب زیرزمینی ناشی از نشت احتمالی مخازن بنزین موجود در انبار نفت خوی، آذربایجان غربی، ایران

عبدالرضا واعظی هیر[1*]
r.vaezi@tabrizu.ac.ir
وحیده عزیزان[2]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۲۴ **تاریخ پذیرش:۹۵/۰۳/۱۹**

چکیده

زمینه و هدف: در این مطالعه، غلظت و میزان گسترش ابر آلودگی آلاینده‌های نفتی در آب زیرزمینی ناشی از نشت احتمالی مخازن بنزین موجود در انبار نفت خوی تحت سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: بدین منظور ابتدا مدل جریان آب زیرزمینی منطقه برای حالت پایدار و ناپایدار با استفاده از بسته مدل MODFLOW-2000 شبیه سازی و مدل جریان واسنجی و پارامترهای هیدرولیکی آبخوان برآورد گردید. به کمک مدل انتقال MT3DMS و با استفاده از داده‌های خروجی مدل جریان، گسترش ابرآلودگی بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن و MTBE برای ورود احتمالی آن با غلظت حداکثر از طریق نشت از مخازن انبار نفت خوی شبیه سازی گردید. به منظور پیش بینی انتقال آلاینده ها تحت شرایط مختلف، سه سناریو در نظر گرفته شد.

یافته ها: نتایج مدل نشان می‌دهد که ابر آلودگی MTBE در صورت تداوم نشت در طی بیست سال گسترشی برابر ۷۷۴ متر و در صورت قطع شدن نشت پس از ۳ سال در طی بیست سال حدود ۱۰۸ متر از منبع نشت آلاینده فاصله خواهد گرفت. این در حالی است که ابر آلودگی ناشی از انتشار BTEXها در صورت تداوم نشت در طی بیست سال گسترشی کم‌تر از MTBE خواهند داشت. مقایسه رفتار ابر آلودگی آلاینده‌های بنزن و MTBE تحت شرایط سناریو دوم (نشت به مدت سه سال) نشان داد که گسترش ابر آلودگی بنزن بعد از ده سال به ۱۲۶ متر برسد و ۸/۵ سال پس از قطع نشت، آلاینده به نزدیک‌ترین چاه بهره‌برداری برسد ولی گسترش ابر آلودگی MTBE در همین مدت بیش از شش برابر بوده و در طی ۱/۵ سال پس از قطع نشت، به نزدیک‌ترین چاه بهره‌برداری برسد که این ناشی از قابلیت انتقال بیش‌تر MTBE در آب نسبت به بنزن می‌باشد.

بحث و نتیجه گیری: سرعت متوسط حرکت آلودگی ۵ تا ۶ سانتی متر در روز برآورد گردید و پیش بینی می‌شود که ابر آلودگی MTBE پس از شروع نشت با فاصله زمانی کم‌تر از BTEXها، به اولین چاه بهره برداری برسند. در صورتی که مقدار جذب سطحی صفر در نظر گرفته شود ابر آلودگی تمام آلاینده‌ها اعم از MTBE، بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن با گذشت ده سال، مناطق شهری پایین دست منطقه مطالعاتی را آلوده خواهند کرد. بنابراین لزوم پایش مستمر نشت و حفاظت از مخازن که مهم‌ترین فرآورده نفتی از نظر داشتن آلاینده‌های نفتی است، ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: BTEX، MTBE، خوی، MT3DMS، MODFLOW-2000

۱- دانشیارگروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. *(مسوول مکاتبات)
۲- کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.2, April, 2019

Numerical Modeling of Petroleum Contaminants Transported in Groundwater Probable Leakage from Khoy Oil Storage Tanks, West Azarbaijan, Iran

Abdorreza Vaezihir[1] *

r.vaezi@tabrizu.ac.ir

Vahideh Azizan [2]

Admission Date:June 8, 2016 Date Received: November 15, 2015

Abstract

Background and Objective: In this research concentration and extent of soluble contaminants plumes caused by probable leakage of petroleum materials from Khoy Oil Products Storages and also transporting mechanism of pollutants by groundwater was investigated.

Method: Groundwater flow model for a steady and transient state was simulated using MODFLOW-2000 code. Then, flow model calibrated and the aquifer hydraulic parameters were estimated. Flow model output and calibrated parameters were used for simulation of BTEX and MTBE transported by MT3DMS code. Three scenarios were considered to predict transporting of pollutants under various conditions.

Findings: The model results suggest that the plume MTBE in the condition of continuous source will be distributed up to 774 meters whereas it will distribute about 108m far from the source if the leakage stops after three years. According to the model prediction, the extension of BTEX will be less than MTBE in the case of continuous leakage. Under condition of the second scenario (non-continuous release of the pollutants) the plume extension of benzene reach will be 126 meter after 10 years and it can reach to the nearest abstraction well in 8.5 years. MTBE plume size in this period reaches to 6 times of BTEX and will reach the well in 1.5 year.

Discussion and Conclusion: Average velocity of contaminant distribution is about 5 to 6 cm per day. It is predicted that the MTBE plume reaches earlier to the first pumping wells related to BTEX. So maintenance of the Oil tanks and monitoring of the downstream groundwater is a necessity. Average velocity of contaminant distribution is about 5 to 6 cm per day. It is predicted that the MTBE plume reaches earlier to the first pumping wells related to BTEX. So maintenance of the Oil tanks and monitoring of the downstream groundwater is a necessity.

Keywords: BTEX, MTBE, Khoy, MT3DMS, MODFLOW-2000.

1- Associated Prof, Faculty of Natural Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran. * *(Corresponding Author)*
2- MSc. in Hydrogeology, Faculty of Natural Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

مقدمه

آلاینده‌های نفتی در صورت نشت از منشا با عبور از منطقه غیر-اشباع و رسیدن به سطح ایستابی به صورت فازهای مختلف از هم تفکیک می‌شوند. آلاینده‌هایی که چگالی آن‌ها کم‌تر از چگالی آب زیرزمینی است، بر روی آب شناور باقی می‌مانند که این نوع آلاینده‌ها، LNAPL[1] نامیده می‌شوند و آلاینده‌هایی که چگالی بیش‌تری نسبت به آب زیرزمینی دارند به کف آبخوان سقوط می‌کنند که این نوع آلاینده‌ها، DNAPL[2] نامیده می‌شوند. فاز سوم آلاینده‌های نفتی فاز محلول می‌باشد که شامل بخش محلول LNAPL و DNAPL بوده و پس از انحلال در آب زیرزمینی در جهت جریان منتقل می‌شود. از این رو، این آلاینده‌ها سرعت بیش‌تری نسبت به سایر آلاینده‌های نفتی در آب دارند و مسافت بیش‌تری را در آب طی می‌کنند و با رسیدن به چاه‌های بهره برداری پایین‌دست باعث آلودگی این چاه‌ها و مناطق شهری و اراضی کشاورزی پایین دست می‌شوند (۱).

گروهی از مواد نفتی محلول در آب که متعلق به مواد نفتی آروماتیک تک حلقوی هستند، به نام گروه BTEXها مشهور هستند، که مخفف چهار ترکیب بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن هستند که این مواد به دلیل حلالیت بسیار بالا در آب و اثرات زیست محیطی که دارند، بیش‌تر از سایر مواد نفتی مورد توجه قرار گرفته‌اند (۲). بنزن جزء سرطان‌زاهای گروه A که دارای خاصیت سرطان زایی قطعی هستند، طبقه‌بندی شده‌اند (۳). از نظر استاندارد آب شرب جهانی غلظت این آلاینده نباید بیش‌تر از ۰/۰۰۵ میلی‌گرم در لیتر (۴) تا ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر باشد (۵). زایلن (دی متیل بنزن) مخلوطی از سه ایزومر ارتو، متا و پارا دی متیل بنزن است که واژه زایلن هر سه ایزومر زایلن را شامل می شود. زایلن عموماً از طریق تنفس و در حد محدودتری از طریق تماس مستقیم پوستی و استفاده از آب آشامیدنی و غذای آلوده به زایلن وارد بدن انسان می‌شود. میزان زایلن موجود در بدن انسان از طریق اندازه‌گیری آن در خون، ادرار، و هوای بازدم قابل بررسی می‌باشد (۶).

متیل ترشیری بوتیل اتر (MTBE) ترکیبی است که از سال ۱۹۷۰ جهت بهسوزی بنزین و کاهش ضربه در موتور خودرو جایگزین تترا اتیل سرب و مواد سمی دیگر شده است. این ماده دارای حلالیت بالا (۵۴/۳ – ۴۳۰ گرم در لیتر) و ضریب Henry پایین (۰/۰۲۳ – ۰/۱۲ بدون بعد) است. MTBE قابلیت بالای انتقال پذیری و باقی ماندن در محیط‌زیست را دارا می‌باشد. اکنون پس از گذشت چند سال از مصرف آن در دنیا مشخص شده است که MTBE نیز دارای امکان تاثیرات سوء روی بدن انسان و مضرات زیست محیطی بوده و می‌تواند منجر به آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی گردد (۶). سازمان EPA حد مجاز توصیه ای ۲۰ تا ۴۰ میکروگرم در لیتر را بر مبنای حدود آستانه بویایی و چشایی MTBE ارایه کرده است (۷).

مدل‌های مختلفی برای شبیه سازی انتقال آلودگی ارایه شده است که یکی از کاربردی‌ترین آن‌ها مدل MT3DMS می‌باشد. مدل MT3DMS یک مدل انتقال سه بعدی جهت شبیه سازی فرایندهای پراکنش – همرفت (Dispersive – Advective) و واکنش‌های شیمیایی مواد محلول در آب زیرزمینی است (۸). از جمله مطالعات مربوط به مدل‌سازی انتقال مواد نفتی در آب زیرزمینی می توان به پژوهش انجام شده توسط واعظی و همکاران (۱۳۹۰) اشاره نمود که طی آن آلودگی آب زیرزمینی ناشی از نشت مواد نفتی از پالایشگاه شیراز به کمک مدل BioLNAPLشبیه سازی گردید. مدل پیش بینی نشان داد که در شرایط منبع پیوسته آلودگی و پالایش طبیعی آبخوان، ۱۱۵ سال طول خواهد کشید تا آلاینده‌های نفتی آزاد شده از توده‌های جنوب منطقه به شرایط تعادلی پایدار برسند که طی آن بین گسترش ابر آلودگی و پالایش طبیعی تعادل ایجاد شود. یزدان دوست و همکاران (۱۳۹۲) با شبیه سازی آسیب پذیری دشت زرقان در رابطه با آلاینده‌های بنزن و فرمالین ناشی از نشت مواد نفتی از پالایشگاه شیراز به کمک مدل MT3DMS نتیجه گرفتند که گسترش ابر آلودگی بنزن در منطقه با سرعت ۱۰۰ متر در سال بوده و به مرور کاهش می‌یابد و ابر آلودگی فرمالین

1- Light Non-Aqueous Phase Liquid

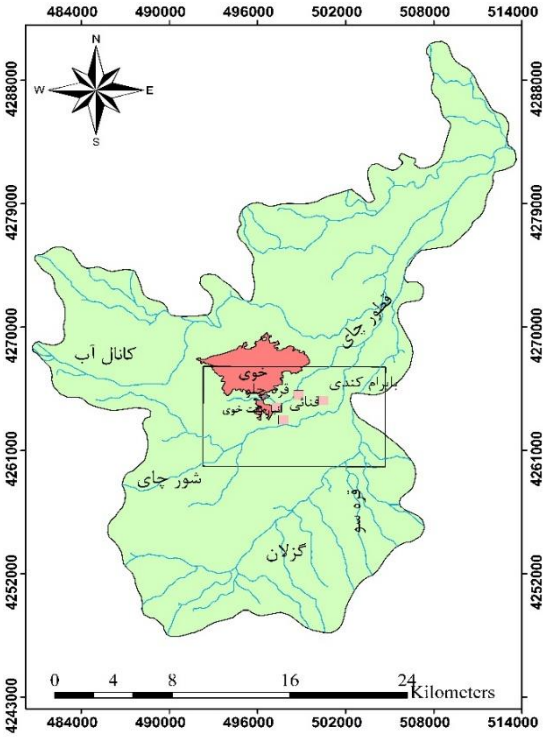
2- Dense Non-Aqueous Phase Liquid

نیز با سرعت قابل توجهی گسترش می‌یابد که پس از ده سال وسعت آن تثبیت می‌شود. Molson و همکاران (۲۰۰۰) برای بررسی آلودگی آب زیرزمینی در اثر نشت مواد نفتی یک شبیه سازی

میرایی طبیعی و دوام بنزن در آب زیرزمینی آلوده به بنزین را در صورت وجود اتانول به کمک مدل BioLNAPL انجام دادند. مدل پیش بینی نشان داد که در شرایط وجود اکسیژن در منطقه، اتانول تمام اکسیژن را مورد مصرف قرار داده و تجزیه بنزن در آب زیرزمینی ۴۰ سال طول خواهد کشید. امیدخواه و همکاران (۱۳۸۶) مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی غلظت MTBE و تعیین مدل نفوذ آن در آب‌های زیرزمینی تهران انجام دادند. نتایج نشان می‌دهد که پمپ بنزین و انبار نفت از جمله عوامل افزایش دهنده غلظت این ماده بوده و با افزایش فاصله از این مکان‌ها، غلظت MTBE به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. Myrttinen و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی آلودگی آب زیرزمینی در اثر نشت MTBE در چاه‌های آب آشامیدنی منطقه پاسکو (ایسلند) یک شبیه سازی عددی از جریان و انتقال آلاینده‌ها به کمک مدل GeoSys/Rockflow انجام دادند. نتایج شبیه سازی نشان داد که تاثیر فرایندهای اصلی بر ارزیابی ابر آلودگی می‌تواند براساس روند جریان و انتقال در سفره توصیف گردد و هم چنین در اثر پمپاژ مداوم از سفره، MTBE در چاه‌های کشاورزی پایین دست منطقه منتقل می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

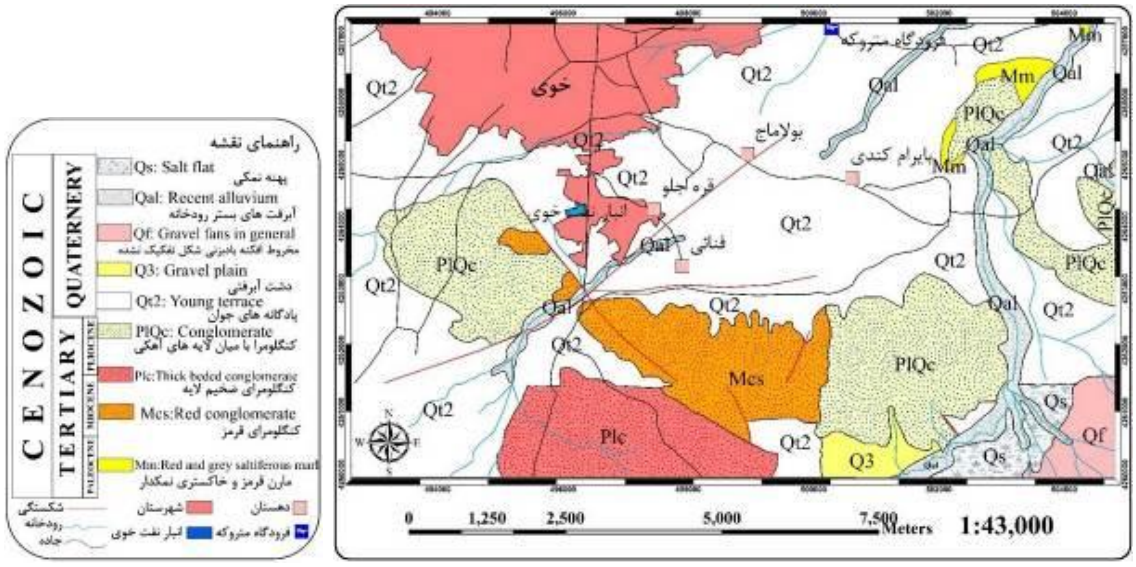
محدوده مورد مطالعه در جنوب شهر خوی واقع در استان آذربایجان غربی قرار داشته و بخشی از دشت خوی می‌باشد . رودخانه قطور چای با روند جنوبی – شمالی از منتهی علیه شرقی منطقه به سمت رودخانه ارس در جریان است (شکل ۱). اقلیم این منطقه در طبقه بندی‌های مختلف اقلیمی (با تلفیق نتایج حاصل از شاخص دومارتن و منحنی‌های آمبروترمیک) نیمه خشک و سرد محسوب می‌شود و متوسط بارندگی در کل محدوده مطالعاتی به طور میانگین ۲۶۷/۲ میلی‌متر است. میانگین تبخیر ماهانه از تشت در ایستگاه خوی ۱۴۳۴ میلی‌متر اندازه گیری شده است (۱۴).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Study area location map

به طور کلی رسوبات آبرفتی دشت خوی حاصل فعالیت رودخانه-های الند و قطور است که به دلیل منفصل بودن دانه‌ها و گسترش زیاد در سطح دشت و نواحی بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها از نظر هیدروژئولوژی دارای اهمیت فراوان هستند. جنس غالب از ذرات شن و ماسه و رس تشکیل شده است. بخشی از این تراس‌ها قدیمی هستند و ذرات با خمیری از رس بهم متصل شده‌اند و از نفوذپذیری آن‌ها کاسته شده است. تراس‌های جدید که از دانه-های شن و ماسه تشکیل شده و در مسیر رودخانه واقع شده‌اند از دانه‌های منفصل ایجاد شده که دارای نفوذپذیری بسیار خوب هستند. با توجه به اطلاعات حاصل از مطالعات ژئوفیزیک، لاگ حفاری چاه‌ها و اطلاعات زمین شناسی، آبخوان اصلی در محدوده مطالعاتی در رسوبات آبرفتی جدید (دوران چهارم) تشکیل شده است (شکل ۲). حداقل ضخامت آبرفت در نواحی حاشیه‌ای دشت کم‌تر از ۵۰ متر و حداکثر ضخامت رسوبات منفصل در این محدوده بیش از ۲۰۰ متر است. سنگ کف در تمام دشت از نوع مارن و کنگلومرا است که در ناحیه شمالی میزان مارن و در ناحیه جنوبی میزان کنگلومرا بیش‌تر است. در بخش غربی دشت آبرفت در جهت جریان و عمق یکنواخت نبوده و لایه‌های رسی و سیلتی دانه ریز بوجود آمده باعث جدا شدن سفره آب زیرزمینی شده که منجر به تشکیل سفره‌های نیمه محصور در دشت گردیده است. محدوده مورد مطالعه بخشی از جنوب دشت خوی می‌باشد که در پایین‌دست مخازن سوختی شرکت پخش فرآورده‌های نفتی قرار داردکه حاوی نفت سفید و بنزین می‌باشند. بیم آن می‌رود در صورت نشت مواد نفتی عناصر آلاینده به آبخوان و اراضی پایین دست منتقل شود.

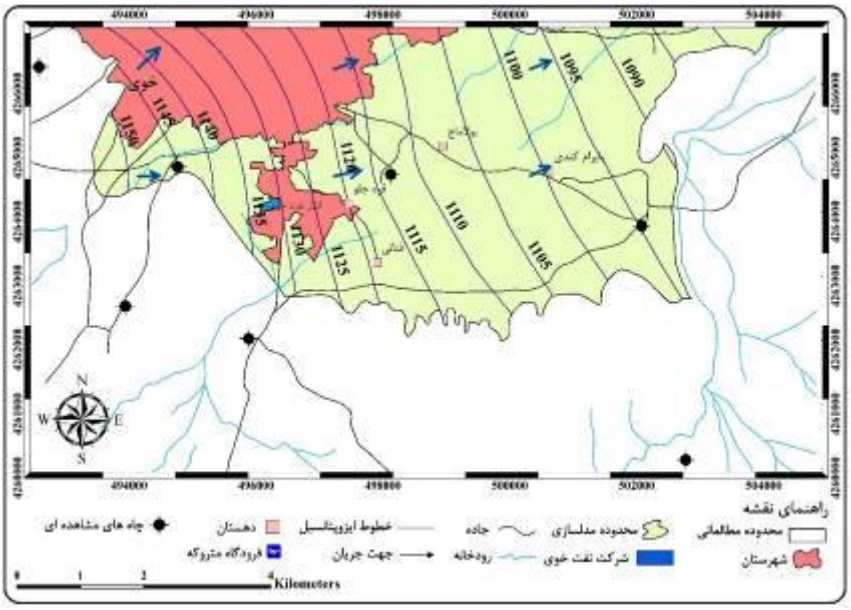


شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

Figure 2- Geological map of the study area

روش بررسی

در این تحقیق حرکت و گسترش ابر آلودگی BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن) و MTBE ناشی از یک نشت احتمالی در مخازن انبار نفت خوی شبیه سازی گردید تا علاوه بر تعیین سرعت تقریبی حرکت آلاینده‌ها زمان رسیدن آن‌ها به نزدیک-ترین چاه بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار گیرد. وسعت دشت خوی، ۶۶۸ کیلومتر مربع می‌باشد که در این مطالعه فقط ۷۲/۵ کیلومتر مربع از آن مدل‌سازی گردید. آبخوان منطقه، تک لایه و آزاد بوده (۱۵) که بر اساس لاگ‌های حفاری، ضخامت متوسط آبرفت ۱۰۰ متر برآورد گردید. سه حلقه پیزومتر در محدوده مورد مطالعه قرار دارد که عمق متوسط سطح ایستابی را در منطقه ۲۲ متر نشان می‌دهد. براساس داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای مربوط به سال ۸۹ نقشه تراز سطح آب زیرزمینی برای منطقه تهیه گردید (شکل۳).



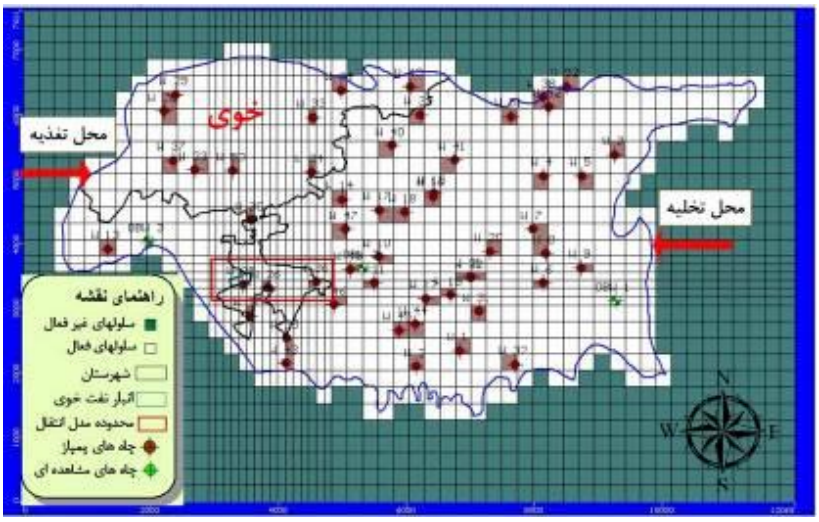
شکل ۳- تراز سطح ایستابی و جهت جریان آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه

Figure3- Water table levels map and groundwater flow direction in the area

براساس نقشه مذکور جهت جریان آب زیرزمینی از جنوب‌غربی محدوده به سمت شمال‌شرقی است. تعداد چاه‌های بهره برداری موجود در منطقه ۵۳ حلقه، با دبی متوسط ۱۸ میلیون متر مکعب در سال گزارش شده که عمدتا جهت مصارف کشاورزی و نیز در برخی نقاط جهت مصارف صنعتی پمپاژ می‌گردند. در محدوده مورد مطالعه رود خانه دائمی وجود ندارد. در این پژوهش از مدل عددی MODFLOW-2000 برای شبیه‌سازی جریان و مدل MT3DMS برای شبیه سازی انتقال جرم استفاده شده است.

شبیه سازی مدل جریان

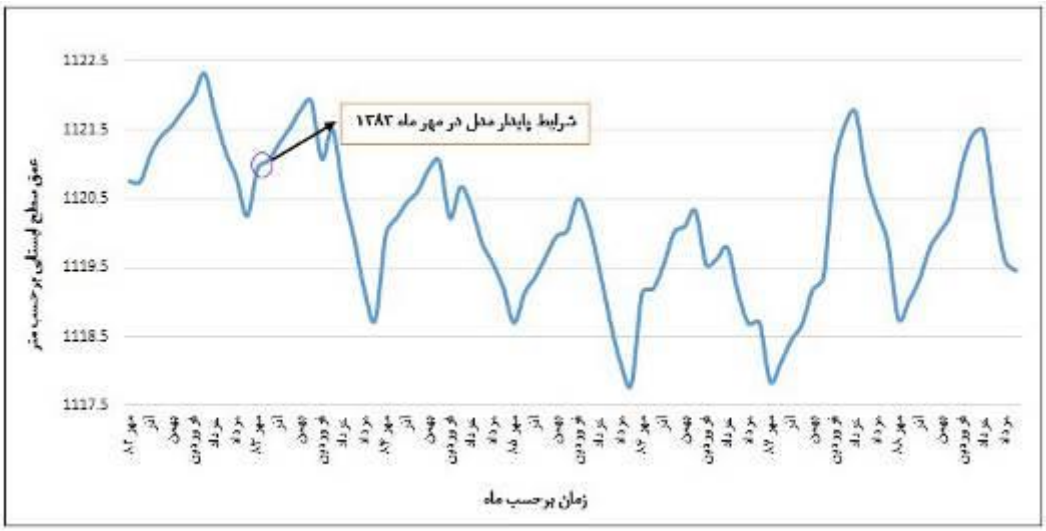
شبکه ایجاد شده برای مدل جریان مشتمل بر ۱۵۰۰ سلول به ابعاد ۵۰ متر در ۵۰ متر شامل ۳۰ ردیف و ۵۰ ستون می‌باشد. محدوده مورد مطالعه از طریق ۴۱ سلول از مرز غربی (مرز تغذیه) و ۳۱ سلول از مرز شرقی (مرز تخلیه)، در تبادل با مناطق خارج از محدوده مورد بررسی می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴- شبکه بندی مدل جریان و موقعیت محدوده مدلسازی انتقال جرم

Figure 4- Discretization of the flow modeling area and location of mass transport modeling area

در هر سلول، مقدار کل برداشت سالانه آب زیرزمینی در بخش کشاورزی، اعم از برداشت توسط چاه‌های نیمه عمیق و عمیق، به صورت یکسان و در مدت دوازده ماه بین تمامی سلول‌های در برگیرنده این اراضی، توزیع گردید (شکل ۵). جهت تهیه مدل جریان، ماه‌های مهر ۸۳ تا مهر ۸۹ به عنوان ۶ دوره زمانی برای مدل انتخاب و با توجه به آمار سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه، هر دوره زمانی به ۱۲ بخش تقسیم و در نهایت ۷۲ گام زمانی برای مدل مورد استفاده قرار گرفت. به منظور اجرای مدل در حالت پایدار، نیاز به دوره زمانی می‌باشد که در آن شرایط آبخوان پایدار باشد. شرایط پایدار در یک آبخوان زمانی محقق می شود که نوسان سطح ایستابی تقریباً صفر باشد. یعنی اگر ورودی‌های آبخوان با خروجی‌های آبخوان برابر باشد، در آن بازه زمانی تراز سطح ایستابی تغییر محسوسی نخواهد کرد. بر این اساس برای تعیین دوره پایدار، ابتدا کل منطقه تیسن بندی گردید و هیدروگراف آبخوان (متوسط وزنی تراز سطح ایستابی) ترسیم شد (شکل ۵).



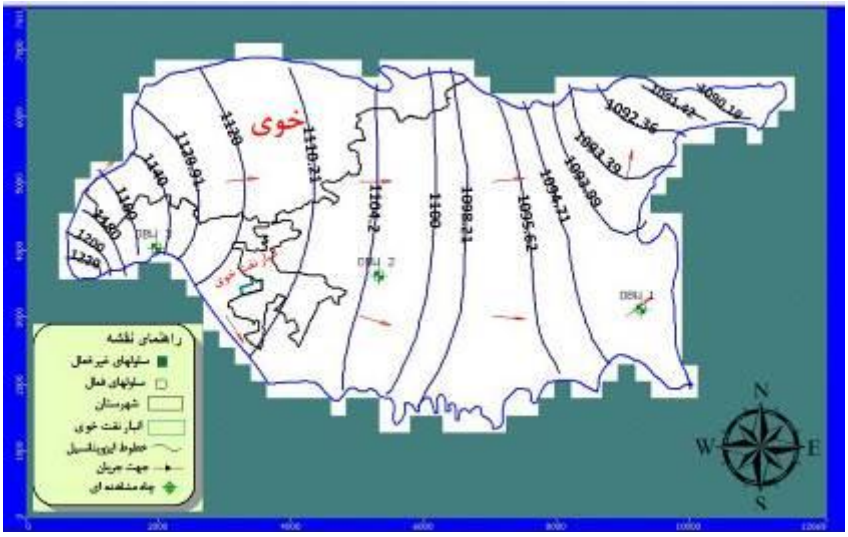
شکل ۵- تغییرات تراز سطح ایستابی در آبخوان دشت خوی برای بازه زمانی سال آبی ۸۲-۸۹

Figure 5- Groundwater fluctuation in the aquifer of Khoy from 2003 to 2010

براساس هیدروگراف آبخوان، شرایط آبخوان در مهر و آبان ماه سال ۱۳۸۳ پایدار بوده و به همین دلیل مهرماه این سال به عنوان دوره پایدار مدل‌سازی در نظر گرفته شد. بر اساس مطالعات مشابه انجام شده در محدوده مورد مطالعه (۱۵)، با در نظر گرفتن ضریب نفوذ ۱۰ درصدی از میزان کل بارش (۲۶۷/۲ میلی‌متر)، میزان تغذیه آبخوان از بارش در هر ماه از سال‌های ۸۳ – ۸۹ وارد مدل شده است. تبخیر از آبخوان هم برای مناطقی در نظر گرفته شد که عمق آب زیرزمینی کم‌تر از ۵ متر بوده است. برای تعیین خصوصیات هیدرولیکی محدوده مورد مطالعه از اطلاعات حاصل از لاگ چاه‌های مشاهده‌ای استفاده گردید سپس با استفاده از جداولی که مقدار هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره آبخوان را با توجه به دانه‌بندی و بافت آبرفت تعیین می‌کنند (۱۶)، مقادیر این دو پارامتر برای محدوده مورد مطالعه برآورد گردید که مقدار هدایت هیدرولیکی ۱/۲ تا ۱/۳ متر بر روز و ضریب ذخیره ۰/۰۲۵ و ۰/۰۳ برآورد گردید. با توجه به اقسام شرایط مرزی، مرز جنوبی منطقه به دلیل وجود رشته کوه‌ها، مرز با بار عمومی (GHB)[1] با نفوذپذیری جزئی در نظر گرفته شد، هم‌چنین مرز شمالی منطقه به دلیل عمود بودن خطوط پتانسیل بر مرز به عنوان مرزی بار عمومی با نفوذپذیری جزئی انتخاب شد. مرز شرقی منطقه، جبهه جریان‌های ورودی

1- General Head Boundary

بوده و مرز غربی منطقه، محل خروج جریان از آبخوان می‌با شد. پس از انجام مراحل فوق، مدل برای حالت پایدار و ناپایدار شبیه سازی و پارامترهای مدل باتوجه به داده‌های مشاهده‌ای واسنجی گردید. نتایج این مرحله از مدل ســـازی به عنوان مدل جریان منط قه برای شـــبـیه ســـازی مدل انت قال آلودگی به مدل MT3DMS منتقل گردید (شکل ۶).



شکل ۶- نقشه هم تراز شبیه سازی شده پس از اجرای مدل جریان

Figure 6- Simulated iso-potential map resulted from running of the flow model

شبیه سازی مدل انتقال

در مرحله شبیه سازی انتقال جرم، حرکت آلاینده‌های BTEX و MTBE شـبیه ســازی گردید و نتایج آن‌ها در یک دوره یک ساله مورد برر سی قرار گرفت. محدوده مدل انتقال کوچک‌تر از محدوده مدل جریان و با ابعاد کم‌تر انتخاب شد. ابعاد سلول‌های مدل انتقال نیز کو چک‌تر از مدل جر یان، ۱۸ متر در ۱۸ متر انتخاب شـد که در نهایت ۵۰ ســطر و ۸۰ ســتون و در مجموع ۴۰۰۰ گره در نظر گرفته شد (شکل ۴).

پارامترهای ورودی مدل انتقال

چگالی ظاهری آلاینده به دو صورت، محا سبات شبیه سازی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، الف) تاثیر بر سرعت ن شت که می‌تواند جابجایی حمل مواد را کنترل کند، ب) حجم فضـــای خالی یک گره ســـلول، برای ذخیره مواد محلول را نشـــان می‌دهد. چگالی ظاهری، یک پارامتر آزمایشـــگاهی اســـت که با توجه به روابط موجود برای هر نمونه یا سنگ تعیین می شود و در این مطالعه چگالی ظاهری متو سط بنزن ۰/۸۷۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، تولوئن ۰/۸۷ گرم بر سانتی متر مکعب، اتیل بنزن ۰/۸۷ گرم بر ســـانتی متر مکعب، زایلن ۰/۸۷ گرم بر ســـانتی متر مکعب و MTBE، ۰/۷۴۰۴ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر گرفته شد (۱۷).

پراکنش طولی قابلیت پراکنش مواد محلول را در ســـفره نشـــان می‌د هد. با تو جه به این که پراکنش در ج هات مختلف روی می‌دهد، به صورت پراکندگی طولی و عرضی وارد مدل می‌شود. مقدار عددی این پارامتر تحت تاثیر مقیاس (حد فاصـــل منبع تا نقطه کنترل)، بافت و مواد تشـــکیل دهنده محیط مورد آزمایش و نوع آلاینده و یا نوع مواد محلول می‌باشـــد. با توجه به مطالب ذکر شـــده، مقدار پارامترهای پراکنش طولی و ضـــریب پخش مولکولی موثر آلاینده‌ها براســـاس مقالات و کارهای علمی انجام شده، برای آلاینده بنزن به ترتیب ۱۰ متر و 7.7E -10، تولوئن به ترتیب ۱۰ متر و 10 – 6.6E، اتیل بنزن ۱۰ متر و – 6E 10، زایلن ۱۰ متر و 10 – 5.6E و برای آلاینده MTBE، ۱۰ متر و 9.41E-5، در نظر گرفته شد (۱۷).

در این مدل با فرض این‌که هیچ واکنش شـــیمیایی در ضـــمن عبور آلاینده با محیط اطراف رخ نمی‌د هد، نوع جذب از نوع جذب سطحی (K_d) انتخاب شد و مقدار آن برای آلاینده بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن (براساس گزارشات EPA) و MTBE

(براساس گزارشات WHO)

به ترتیب برابر 7.7E-10، 6.6E – 10، 6E – 10 و 5.6E – 10 و 9.41E-5 در نظر گرفته شـــد. غلظت ورودی آلاینده‌ها معادل حداکثر حلالیت آن‌ها در آب در نظر گرفته شـد که برای بنزن ۱/۷ گرم بر لیتر، تولوئن ۰/۵۲ گرم بر لیتر، اتیـل بنزن ۰/۱۵۲ گرم بر لیتر، زایلن ۰/۱۵۲ گرم بر لیتر و MTBE، ۴۸ گرم بر لیتر (۱۶) و منشا آلاینده یکی از مخازن بنزین انبار نفت خوی می‌باشد.

در مدل‌های انتقال تعیین شـرایط اولیه (Initial condition) بســتگی به اهداف مدل دارد. در شـــرایط ایده آل لازم اســت داده‌های آلودگی آب زیرزمینی در سطح سفره در نقاط مختلف به اندازه کافی در دسترس باشد تا بتوان مقادیر غلظت یک زمان مشخص را به عنوان مقادیر اولیه وارد مدل کرد. با توجه به نبود اطلاعات کافی از غلظت آلاینده‌های مورد نظر در چاه‌های کیفی منطقه این مقدار برای تمامی آلاینده‌ها در زمان شـروع نشـت، صـفر در نظر گرفته شـد. جدول (۱) نشـان دهنده پارامترهای شـیمیایی داده شـده به مدل انتقال و مدل جریان می‌باشـد. باتوجه به این که حمل مواد محلول با جریان آب صـورت می‌گیرد، بنـابراین مرزهـای ورودی و خروجی آلاینـده‌هـای BTEX و MTBE منطبق بر مرزهـای ورودی و خروجی جریان آب زیرزمینی (مرز با بار ثابت) بوده و از نوع مرز با غلظت معلوم[1] در نظر گرفته شد.

جدول ۱- پارامترهای شیمیایی داده شده به مدل جریان و انتقال

Table 1- Chemical parameters assigned to the flow and transport models

	پارامتر		مقدار		پارامتر		مقدار
خصوصیات آلاینده	بنزن	چگالی کل (میلیگرم بر لیتر)	۸۸۰۰۰۰	خصوصیات آبخوان	بنزن	Distribution Coefficient (یک بر میلیگرم بر لیتر)	۱/۷ E -۷
	تولوئن		۸۷۰۰۰۰		تولوئن		۰/۵۲E -۷
	اتیل بنزن		۸۷۰۰۰۰		اتیل بنزن		۰/۱۵۲E -۷
	زایلن		۸۷۰۰۰۰		زایلن		۰۱۵۲E -۱۰
	MTBE		۷۴۰۰۰۰		MTBE		۴/۸E -۶
	بنزن	حلالیت در آب (میلیگرم بر لیتر)	۱۷۰۰		**Longitudinal Dispersivity**(متر)		۱۰
	تولوئن		۵۲۰		**تخلخل کل**		۰/۰۶
	اتیل بنزن		۱۵۲		**هدایت هیدرولیکی آبخوان**(متر بر روز)		۱/۲
	زایلن		۱۵۲		**ضریب ذخیره ویژه آبخوان**		۰/۰۳
	MTBE		۴۸۰۰۰				
	بنزن	وزن مولکولی (گرم بر مول)	۷۸/۱۱				
	تولوئن		۹۲/۱۴				
	اتیل بنزن		۱۰۶/۱۷				
	زایلن		۱۰۶/۱۶				
	MTBE		۸۸/۱۵				
	بنزن	K_d (متر مربع بر ثانیه)	۷/۷ E -۱۰				
	تولوئن		۶/۶E -۱۰				
	اتیل بنزن		۶ E -۱۰				
	زایلن		۵/۶E -۱۰				
	MTBE		۹/۴۱E -۵				

1- Constant Concentration

یافته‌ها

بعد از تکمیل مدل شـــبیه ســـازی که منجر به اخذ خروجی از مدل جریان و انتقال گردید، به منظور بررسی میزان حساسیت مدل به پارامترهای مختلف آنالیز حساسیت صورت گرفت و طی آن چهار پارامتر اصـــلی مورد بررســـی قرار گرفت (جدول ۲). از بین پارامترهای مورد بررســـی مدل انتقال به هدایت هیدرولیکی بیش‌ترین حســـاســـیت را داشـــته و به پارامترهایی نظیر غلظت آلاینده، پراکنش طولی و ضریب ذخیره حساسیت کمتری دارد.

جدول ۲- آنالیز حساسیت مدل انتقال به تغییر پارامترهای اصلی

Table 2- Sensitivity analysis of transport model related to the main parameters

پارامتر	مقدار	میزان گسترش ابر آلودگی (m)	درصد تغییرات
غلظت (mg/L)	۸۵۰	۲۲۸	۲/۹۷
	**۱۷۰۰	۲۳۵	۰
	۲۲۵۰	۲۴۰	۲/۱۲
پراکنش طولی (m)	۵	۲۳۰	۲/۱۲
	**۱۰	۲۳۵	۰
	۱۵	۲۴۵	۴/۲۵
هدایت هیدرولیکی آبخوان (m/day)	۰/۶۶	۱۵۰	۲۶/۱۷
	**۱/۲	۲۳۵	۰
	۱/۸	۲۹۵	۲۵/۵۳
ضریب ذخیره ویژه آبخوان	۰/۰۱۵	۲۳۵	۰
	**۰/۰۳	۲۳۵	۰
	۰/۰۴۵	۲۳۵	۰

** مقادیر انتخاب شده اصلی

پس از وارد کردن کلیه اطلاعات مورد نیاز، مدل برای حالت غیرماندگار با چهار گام زمانی بر اساس دوره زمانی شبیه سازی بیست ساله ۱۳۸۳-۱۴۰۳ تحت شرایط سناریوهای مختلف اجرا شد.

برای پیش بینی روند گســـترش آتی ابر آلودگی آلاینده‌ها ســـه سناریو در نظر گرفته شد:

۱) منبع انتشـــار آلودگی یک منبع پیوســـته (Continuous) باشد.

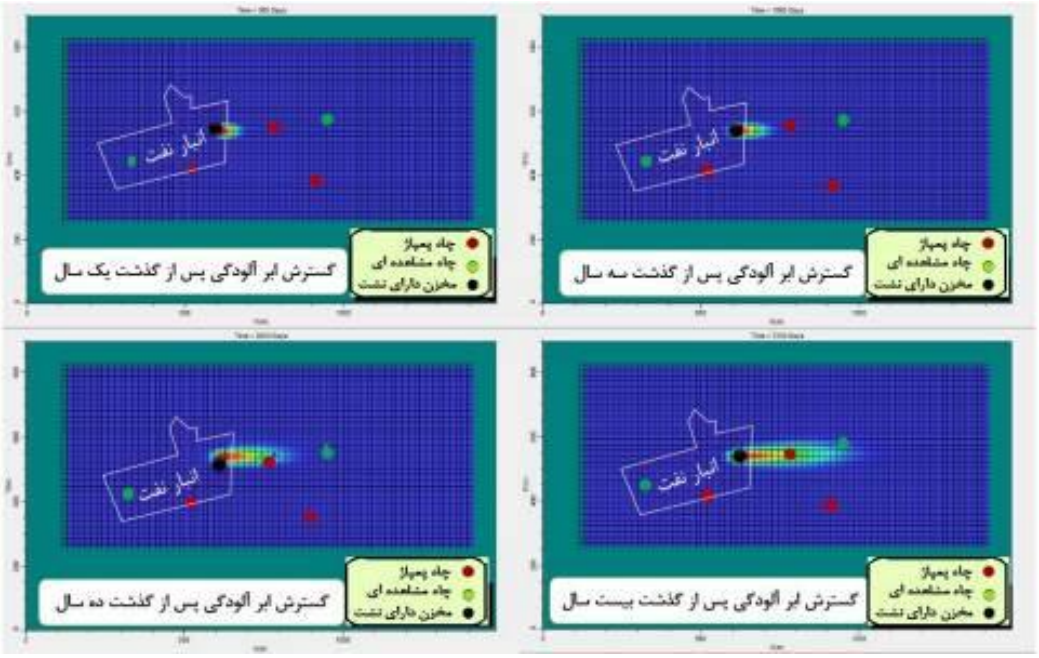
۲) منبع آلودگی به شکل غیر پیو سته بوده و سه سال پس از شروع نشت قطع گردد.

۳) گسترش ابر آلودگی بدون در نظر گرفتن فرآیند جذب باشد.

الف) سناریو اول (سناریو با نشت پیوسته)

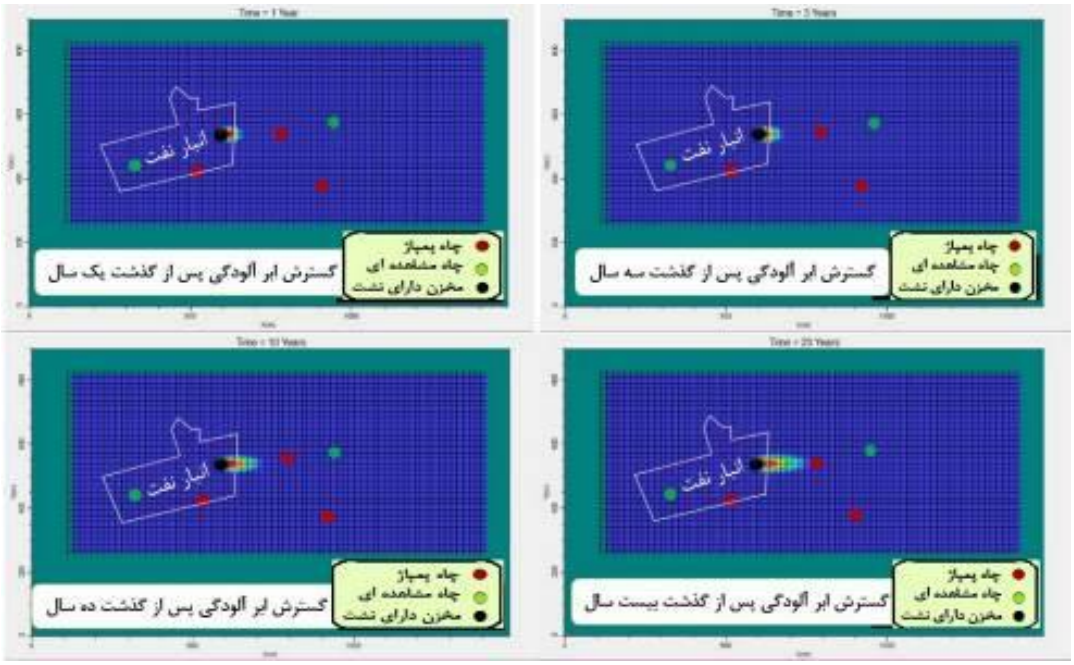
بر اساس این سناریو نشت آلاینده‌ها از منبع در طول زمان ادامه دا شته یا به عبارتی دیگر منبع انت شار آلودگی در طی زمان یک منبع پیوســـته و دایمی باشـــد و غلظت آن‌ها در این مدت ثابت می‌با شد. با توجه به شکل‌های (۷) تا (۱۱) م شخص گردید که در ســـناریو اول ابر آلودگی ناشـــی از انتشـــار آلاینده‌های نفتی گسترش شرقی – غربی دا شته و به مرور زمان به سمت شرق محدوده گســـترش می‌یابند که هم روند با جهت جریان عمومی آب زیرزمینی است. به دلیل وجود چندین چاه در سمت شرقی

سایت انبار نفت ابر آلودگی MTBE در طی ده سال اول تنها بیش‌تر از سایر آلاینده‌ها در حدود ۷۷۴ متر به سمت شرق حرکت نموده ا ست. در ادامه با گذ شت ۲۰ سال این روند ادامه می‌یابد که این در نتیجه حلالیت بیشتر MTBE نسبت به سایر آلاینده‌های نفتی در آب می‌باشد. مقایسه رفتار ابر آلودگی آلاینده‌های بنزن و MTBE تحت شرایط سناریو اول نشان داد که گ سترش ابر آلودگی MTBE در طی ده سال تقریبا ۳/۵۳ برابر گسترش ابر آلودگی بنزن می‌باشد، که این مسأله مربوط به حلالیت بیش‌تر MTBE در آب زیرزمینی (۵۴/۳ – ۴۳۰ گرم در لیتر) نسبت به بنزن می‌باشد.



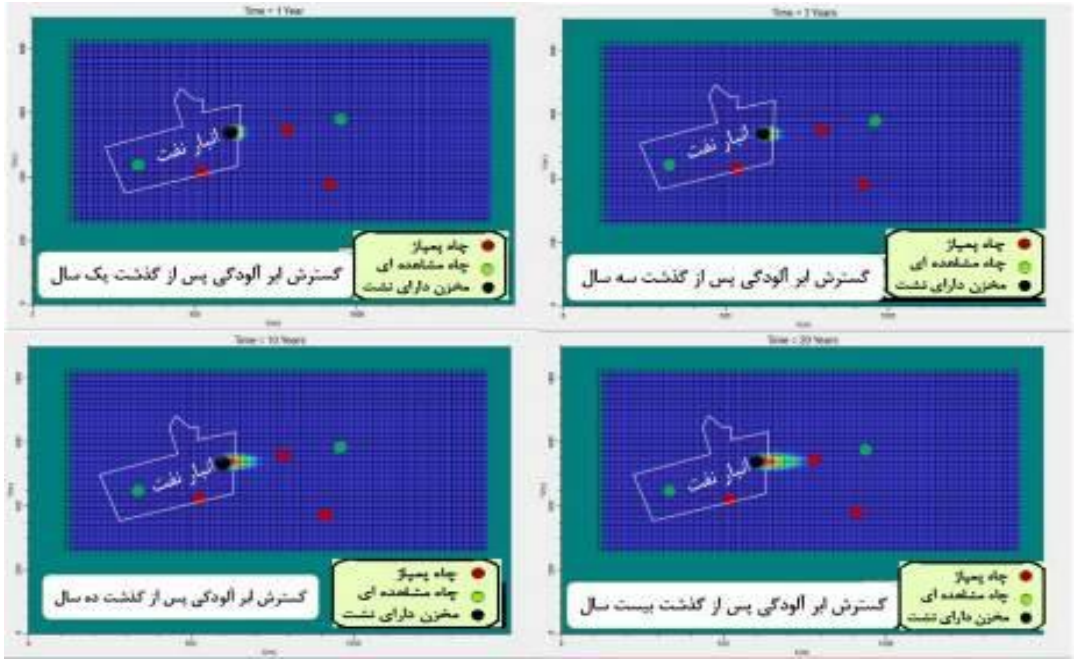
شکل ۷- گسترش ابر آلودگی بنزن تحت شرایط سناریو اول

Figure 7- Extension of Benzene plume under the first scenario condition



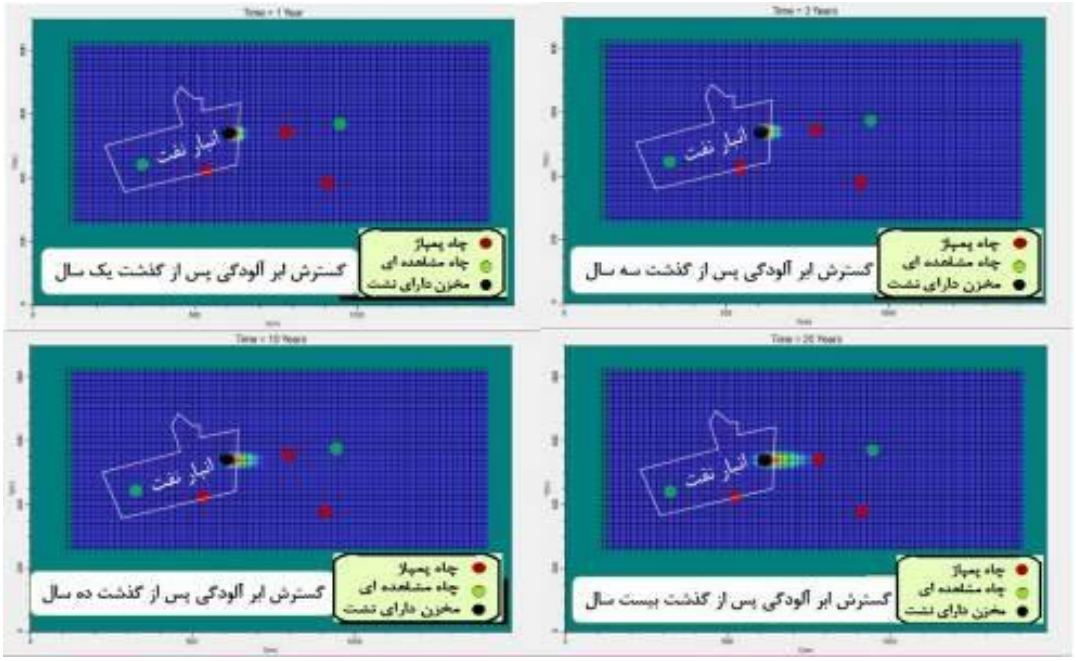
شکل ۸-گسترش ابر آلودگی تولوئن تحت شرایط سناریو اول

Figure 8- Extension of Toluene plume under the first scenario condition



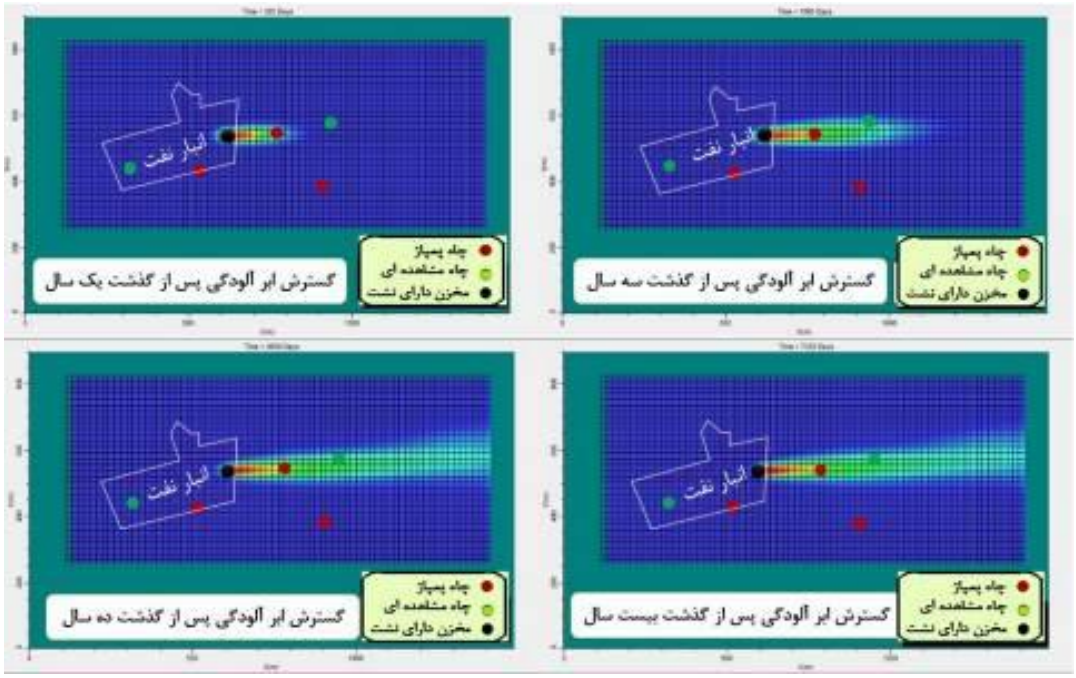
شکل ۹- گسترش ابر آلودگی اتیل بنزن تحت شرایط سناریو اول

Figure 9-Extension of Ethylbenzene plume under the first scenario condition



شکل ۱۰- گسترش ابر آلودگی زایلن تحت شرایط سناریو اول

Figure 10- Extension of Xylene plume under the first scenario condition

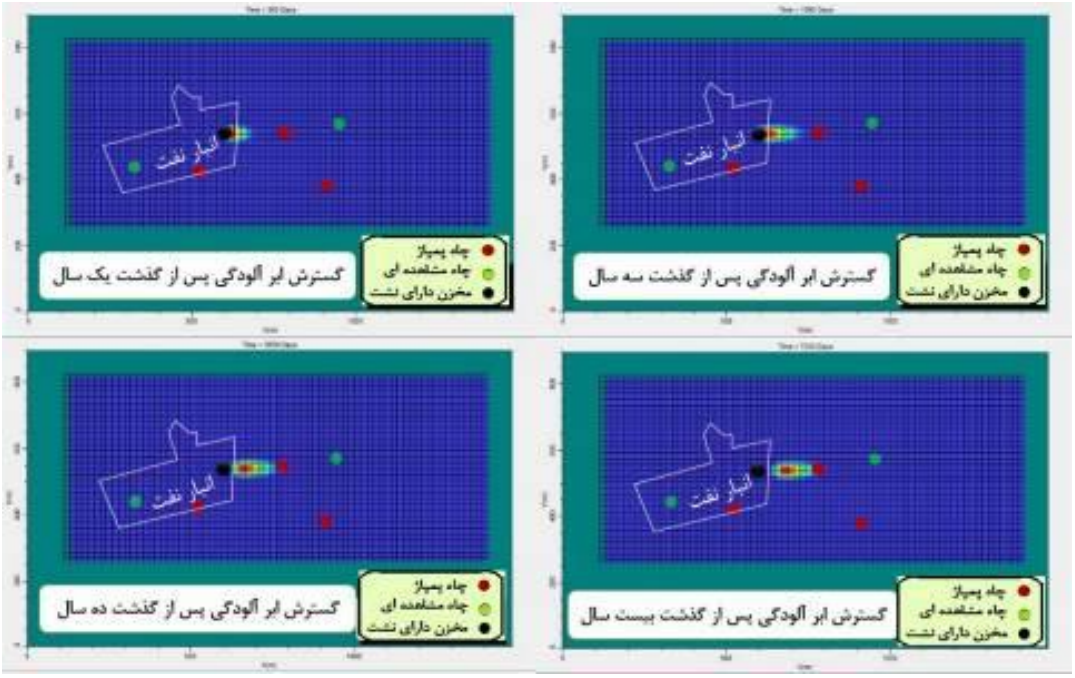


شکل ۱۱- گسترش ابر آلودگی MTBE تحت شرایط سناریو اول

Figure 11- Extension of MTBE plume under the first scenario condition

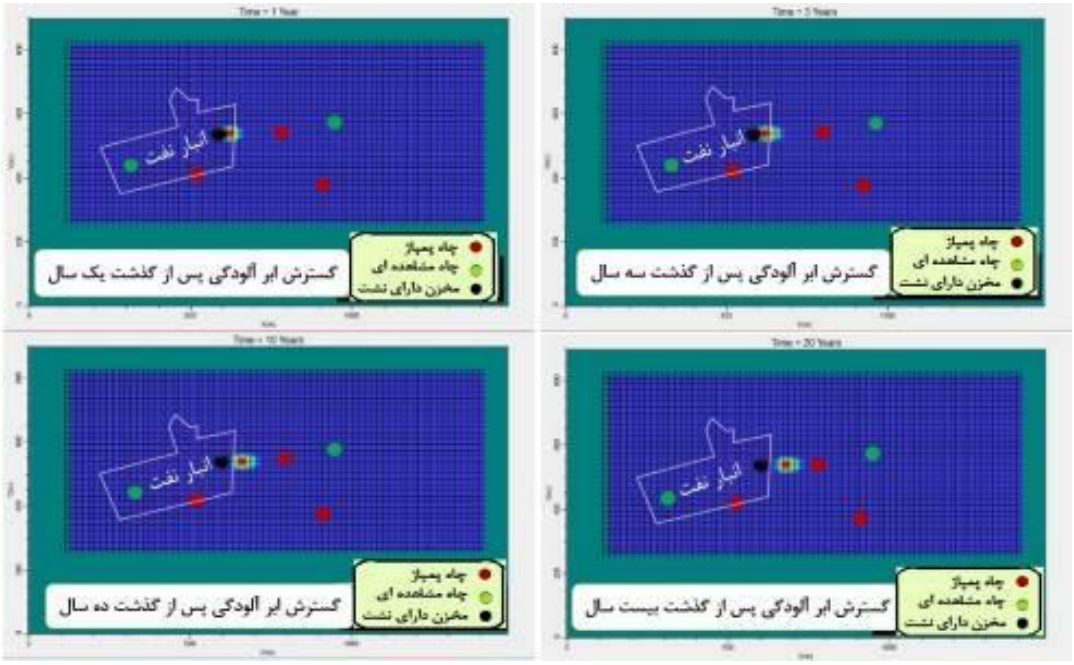
ب) سناریو دوم (نشت آلودگی برای مدت سه سال)

بر اساس این سناریو منبع آلودگی به شکل غیر پیوسته بوده و سه سال پس از شروع نشت آلودگی از منبع قطع می گردد. در این سناریو با قطع شدن نشت احتمالی پس از سه سال، ابر آلودگی MTBE با گذشت ده سال حدود ۳۶ متر و ابر آلودگی بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن به ترتیب حدود ۱۸، ۱۰، ۵ و ۵ متر به سمت شرق گسترش یافته و از منبع آلاینده فاصله خواهند گرفت که این میزان در طی بیست سال برای MTBE به ۷۲ متر و برای بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن به ترتیب حدود ۳۲، ۱۸، ۱۱ و ۱۱ متر خواهد رسید. شکل‌های (۱۲) تا (۱۶) نشان دهنده تغییرات ابر آلودگی آلاینده‌ها تحت شرایط سناریو دوم می‌باشد. مقایسه رفتار ابر آلودگی آلاینده‌های بنزن و MTBE تحت شرایط سناریو دوم نشان داد که گسترش ابر آلودگی MTBE در طی ده سال تقریبا ۳/۸ برابر گسترش ابر آلودگی بنزن می‌باشد، ابر آلودگی بنزن بعد از ده سال حدود ۱۸ متر از منبع آلاینده دور شده و در طی ۸/۵ سال آلاینده با غلظت ۹۲۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر به نزدیک‌ترین چاه بهره‌برداری می‌رسد ولی گسترش ابر آلودگی MTBE بعد از ده سال به بیش از ۷۷۴ متر رسیده و در طی ۱/۵ سال، آلاینده با غلظت ۱۵/۷ گرم بر لیتر با فاصله زمانی کم‌تر از بنزن به نزدیک‌ترین چاه بهره‌برداری برسد که این ناشی از قابلیت انتقال بیشتر MTBE در آب نسبت به بنزن می‌باشد.



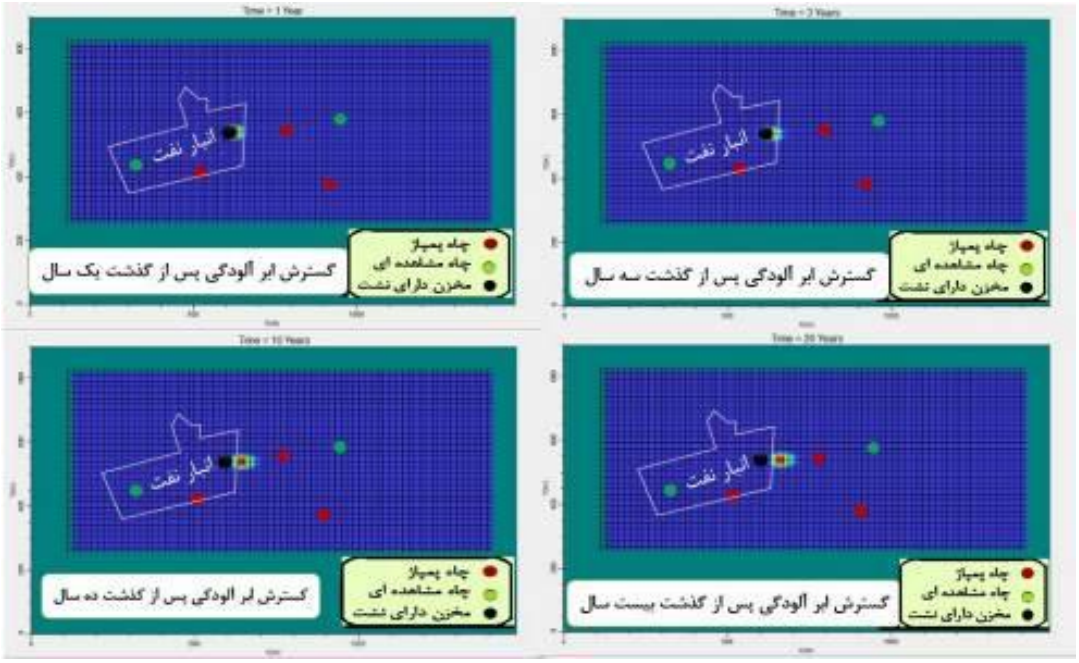
شکل ۱۲- گسترش ابر آلودگی بنزن تحت شرایط سناریو دوم

Figure 12- Extension of Benzene plume under the second scenario condition



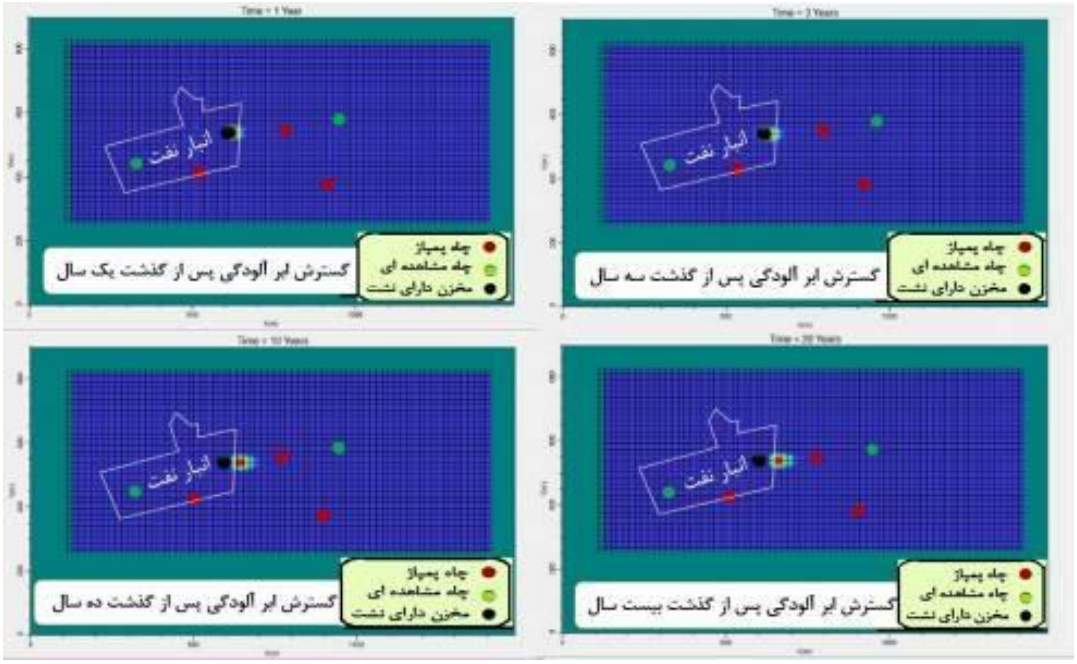
شکل ۱۳- گسترش ابر آلودگی تولوئن تحت شرایط سناریو دوم

Figure 13- Extension of Toluene plume under the second scenario condition



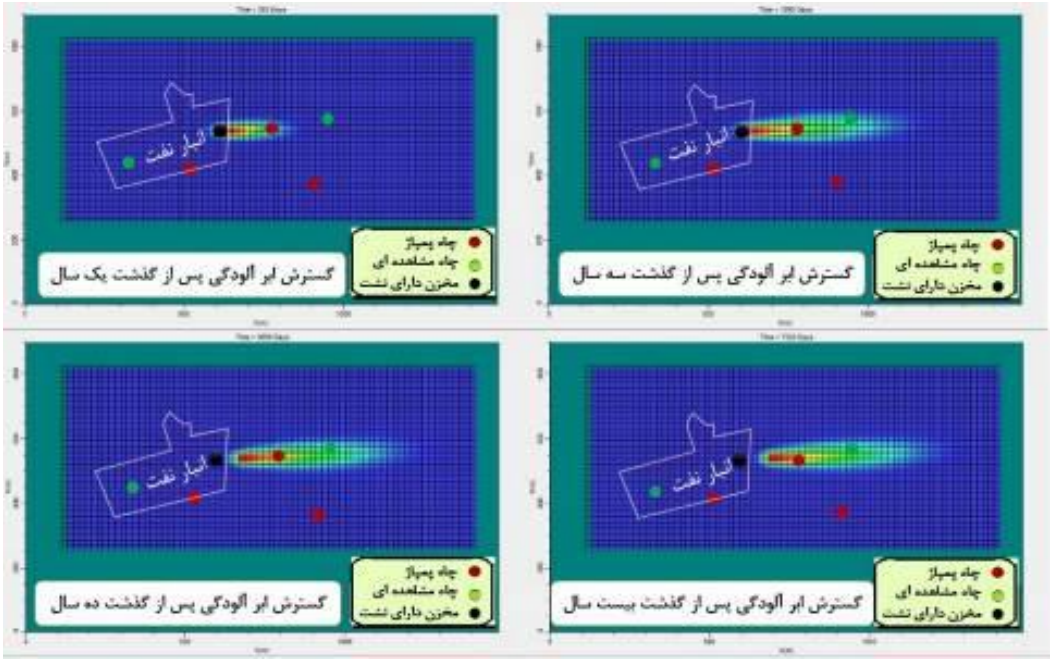
شکل ۱۴- گسترش ابر آلودگی اتیل بنزن تحت شرایط سناریو دوم

Figure 14- Extension of Ethylbenzene plume under the second scenario condition



شکل ۱۵- گسترش ابر آلودگی زایلن تحت شرایط سناریو دوم

Figure 15- Extension of Xylene plume under the second scenario condition



شکل ۱۶- گسترش ابر آلودگی MTBE تحت شرایط سناریو دوم

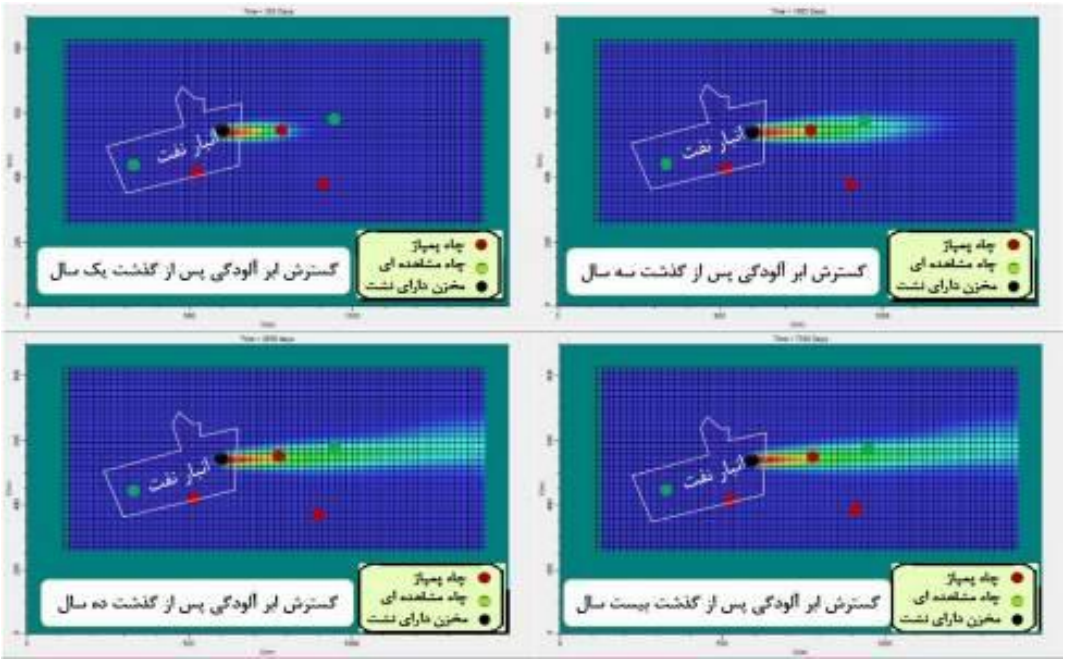
Figure 16- Extension of MTBE plume under the second scenario condition

ج) سناریو سوم (گسترش ابر آلودگی بدون جذب، سناریو بدترین حالت)

بر اساس سناریو سوم مقادیر پارامترهای انتقال به ویژه میزان جذب سطحی (K_d) صفر در نظر گرفته شده است. در تمامی شبیه سازی‌ها سناریویی در نظر گرفته می‌شود که به نام سناریو بدترین حالت (Worst case scenario) نام دارد، هدف از طرح این سناریو، تصمیم گیری با درصد ریسک حداقل می‌باشد. به این صورت که فرض می‌شود در بدترین حالت که جذب آلاینده‌ها در آب و خاک اتفاق نیفتد، رفتار ابر آلودگی به چه صورت خواهد بود؟ نتایج حاصل از اجرای این سناریو بر روی مدل انتقال آلاینده های MTBE، بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در شکل‌های (۱۷) تا (۲۱) آورده شده است. نتایج سناریو سوم نشان داد که در این حالت ابر آلودگی تمام آلاینده‌های نفتی با گذشت ده سال ۱۲۸۳۰ متر مربع از مساحت آبخوان پایین دست منطقه مطالعاتی را آلوده خواهند کرد. مقایسه رفتار ابر آلودگی آلاینده‌های بنزن و MTBE تحت شرایط سناریو سوم نشان داد که گسترش ابر آلودگی MTBE در طی ده سال تقریبا ۱/۰۲ برابر گسترش ابر آلودگی بنزن می‌با شد، که این به دلیل قابلیت بالای انتقال MTBE در آب زیرزمینی نسبت به بنزن می‌باشد.

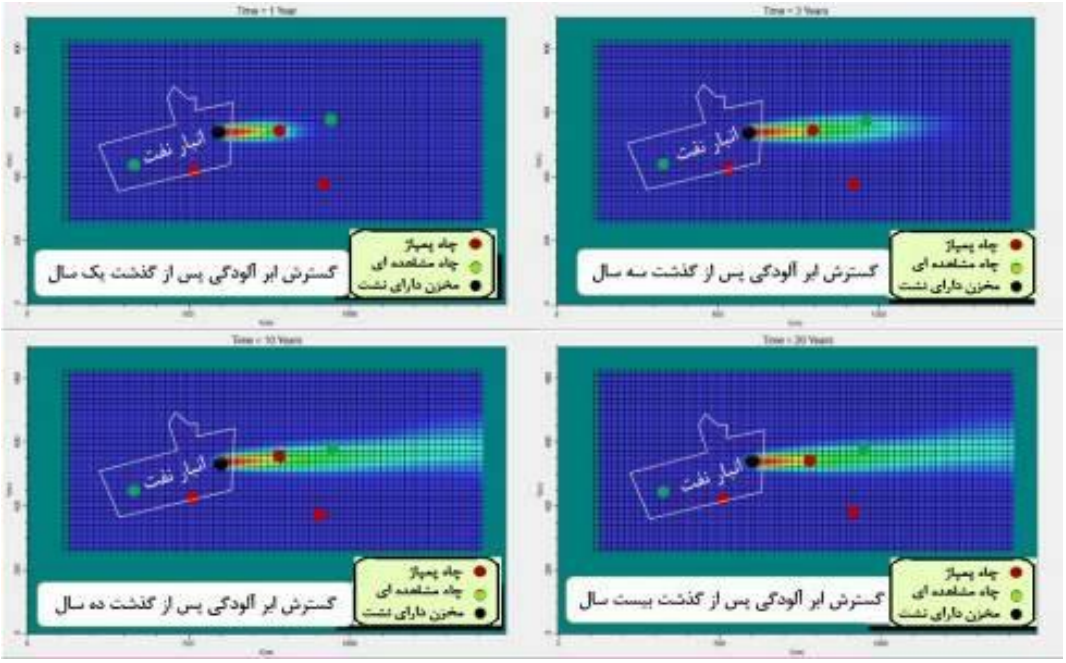
اجرای سناریوهای سه‌گانه برای پیش بینی رفتار BTEX و MTBE در آبخوان منطقه مورد مطالعه نشان داد که میزان گسترش ابر آلودگی MTBE بسیار بیش‌تر از BTEXها می‌باشد که این به دلیل قابلیت جذب کم‌تر آن و حلالیت بالا نسبت به BTEXها می‌باشد.

به طوری که در صورت عدم قطع منبع نشت ابر آلودگی MTBE می‌تواند ۷۷۴ متر از منشاء فاصله گرفته و آبخوان پایین‌دست و منابع بهره‌برداری را آلوده کند.



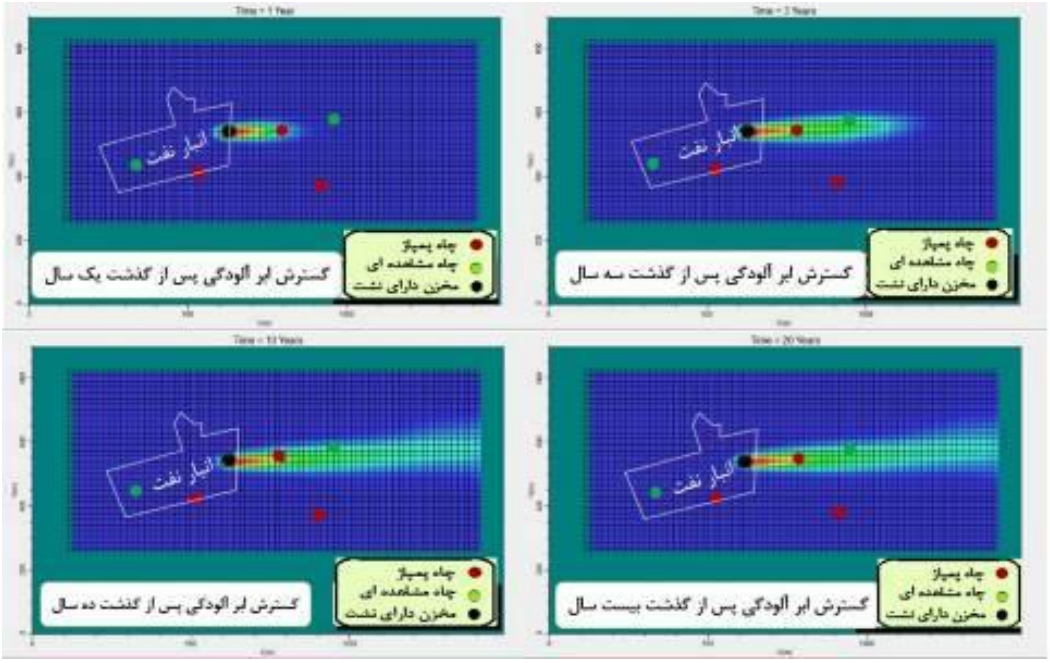
شکل ۱۷- گسترش ابر آلودگی بنزن تحت شرایط سناریو سوم

Figure 17- Extension of the Benzene plume under the third scenario condition



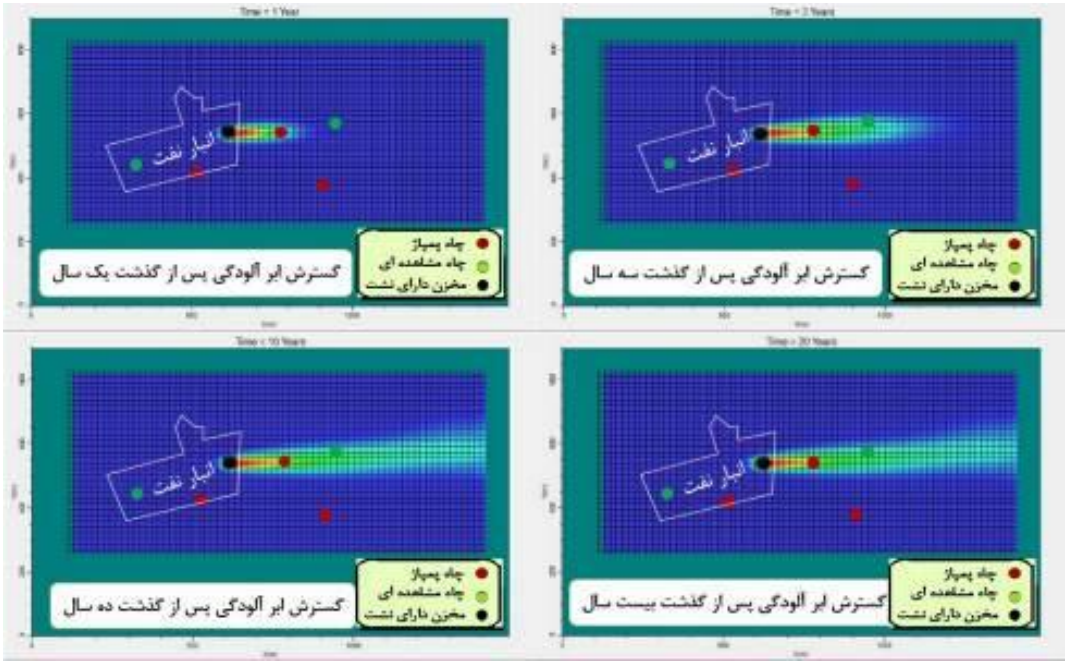
شکل ۱۸- گسترش ابر آلودگی تولوئن تحت شرایط سناریو سوم

Figure 18- Extension of the Toluene plume under the third scenario condition



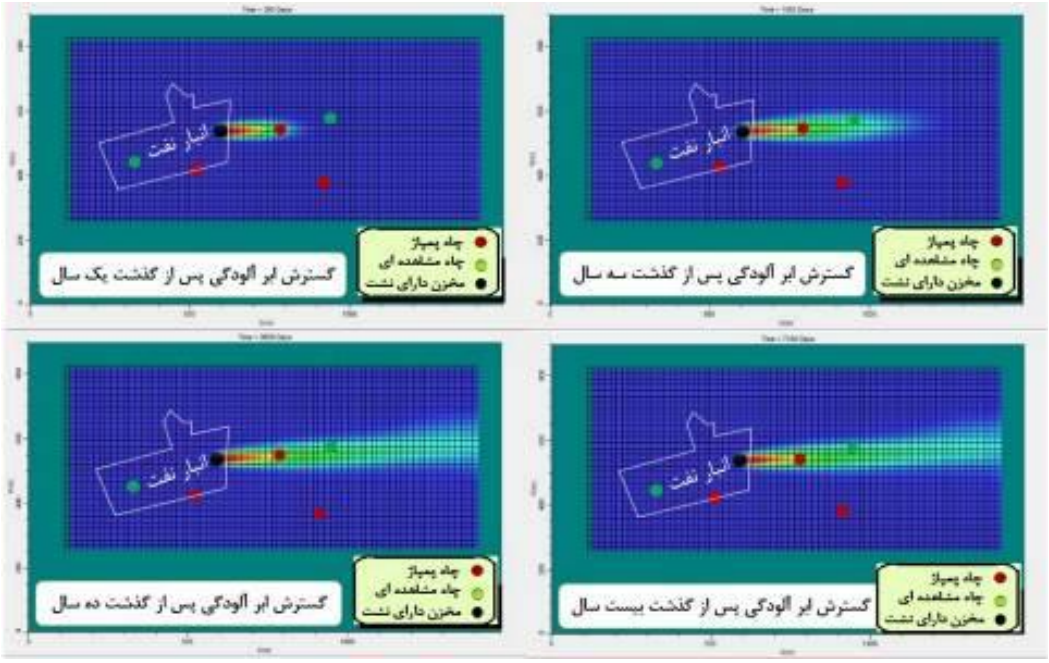
شکل ۱۹- گسترش ابر آلودگی اتیل بنزن تحت شرایط سناریو سوم

Figure 19- Extension of the Etil benzene plume under the third scenario condition



شکل ۲۰- گسترش ابر آلودگی زایلن تحت شرایط سناریو سوم

Figure 20- Extension of Xylene plume under the third scenario condition



شکل ۲۱- گسترش ابر آلودگی MTBE تحت شرایط سناریو سوم

Figure 21- Extension of MTBE plume under the third scenario condition

بنابراین با توجه به این‌که در برخی پالایشگاه‌های کشور، هنوز MTBE به عنوان یک افزاینده عدد اکتان به بنزین اضافه می‌شود بایستی نسبت به جایگزینی آن با یک افزودنی (Additive) کم خطرتر اقدام گردد. گسترش ابر آلودگی BTEXها نیز به نوبه خود قابل توجه بوده و به دلیل این‌که غلظت BTEXها در سال های اخیر در بنزین های تولیدی کشور افزایش یافته است، این می‌تواند یک خطر زیست محیطی بالقوه برای آب‌های سطحی و زیرزمینی مناطق مجاور پالایشگاه‌ها، مخازن و پمپ بنزین‌ها باشد. با پایش مستمر سطح ماده نفتی در داخل مخزن و حفر چاه‌های پایش در پایین‌د ست این منابع آلاینده، می‌توان مدت زمان آگاهی از نشت آلاینده و در نتیجه گسترش آن را کاهش داده و علاوه بر اتلاف سرمایه‌های ملی هزینه‌های پاک سازی را به شدت کاهش دهد. جدول (۳) نتایج حاصل از اجرای مدل تحت شرایط سناریوهای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج پیش بینی مدل انتقال تحت شرایط سناریوهای مختلف

Table 3- Transport model prediction results under condition of different scenarios

سناریوها	آلاینده-ها	میزان گسترش ابر آلودگی آلاینده‌ها در طی سال‌های مختلف (متر)			میانگین
		یک سال	سه سال	ده سال	
سناریو اول	بنزن	۶۱	۱۰۸	۲۳۵	۱۳۴
	تولوئن	۵۴	۷۲	۹۹	۷۵
	اتیل بنزن	۳۶	۵۴	۷۲	۵۴
	زایلن	۳۶	۵۴	۷۲	۵۴
	MTBE	**۱۶۲**	**۴۶۸**	**۷۷۴**	**۴۶۸**
سناریو دوم	بنزن	۶۱	۱۰۸	۱۲۶	۹۸
	تولوئن	۵۴	۷۲	۸۲	۶۹
	اتیل بنزن	۳۶	۵۴	۵۹	۴۹
	زایلن	۳۶	۵۴	۵۹	۴۹
	MTBE	**۱۶۲**	**۴۶۸**	**۵۰۴**	**۳۷۸**
سناریو سوم	بنزن	۲۵۲	۵۰۴	>۷۷۴	۵۱۰
	تولوئن	۱۹۸	۴۳۲	>۷۷۴	۴۶۸
	اتیل بنزن	۱۸۰	۳۹۶	>۷۷۴	۴۵۰
	زایلن	۱۸۰	۳۹۶	>۷۷۴	۴۵۰
	MTBE	**۲۷۰**	**۵۲۲**	**>۷۷۴**	**۵۲۲**

بحث و نتیجه گیری

نتایج مدل سازی عددی به کمک دو مدل MODFLOW + MT3DMS برای پیش بینی و مقایسه رفتار حرکت آلاینده‌های نفتی در آب‌خوان منطقه جنوب شرقی شهر خوی نشان داد که پارامتر هدایت هیدرولیکی آبخوان بیشترین تاثیر را بر روی مدل انتقال دارد و تغییر مقدار آن باعث تغییرات چشم‌گیر در میزان گسترش ابر آلودگی بنزن می شود. با اعمال سه سناریو مختلف به مدل، نتایج سناریو اول نشان می‌دهد که اگر منبع انتشار آلاینده‌ها یک منبع پیوسته باشد، گسترش ابر آلودگی MTBE بعد از بیست سال بیش‌تر از BTEXها، حدود ۷۷۴ متر خواهد بود. و بر اساس نتایج حاصل از اجرای سناریو دوم اگر منبع آلاینده غیر پیوسته باشد و سه سال پس از شروع نشت قطع گردد،

ابر آلودگی MTBE بعد از بیست سال فقط ۷۲ متر از منبع آلاینده دور خواهد شد ولی ظرف مدت ۱/۵ سال می تواند به نزدیک‌ترین چاه بهره‌برداری برسد. مقایسه رفتار ابر آلودگی آلاینده‌های بنزن و MTBE تحت شرایط سناریو دوم نشان داد که گسترش ابر آلودگی بنزن بعد از ده سال به ۱۲۶ متر برسد و ۸/۵ سال پس از قطع نشت، آلاینده به نزدیک‌ترین چاه بهره‌برداری بر سد ولی گسترش ابر آلودگی MTBE در همین مدت بیش از شش برابر بوده و در طی ۱/۵ سال پس از قطع نشت، به نزدیک‌ترین چاه بهره‌برداری برسد که این ناشی از قابلیت انتقال بیش‌تر MTBE در آب نسبت به بنزن می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از سناریو سوم نشان داد که در صورتی که مقدار جذب سطحی صفر در نظر گرفته شود ابر آلودگی تمام آلاینده‌ها اعم از MTBE، بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن با گذشت ده سال، مناطق شهری پایین دست منطقه مطالعاتی را آلوده خواهند کرد بطوری‌که گسترش ابر آلودگی MTBE بیش‌تر از ابر آلودگی سایر آلاینده‌ها خواهد بود.

برا ساس مطالعات م شابه انجام شده تو سط واعظی و همکاران (۱۳۹۰) و یزدان دو ست و همکاران (۱۳۹۳)، سرعت گ سترش ابر آلودگی بنزن بیش‌تر از سایر BTEXها می‌با شد که این به دلیل حلالیت بالای بنزن در آب زیرزمینی می‌باشـد که با نتایج بدسـت آمده از این تحقیق مطابقت می‌کند. همچنین مقایسـه رفتار ابر آلودگی آلاینده‌های بنزن و MTBE تحت شـرایط هر سـه سـناریو نشـان داد که به دلیل حلالیت و در نتیجه قابلیت انتقال بیش‌تر، گسترش ابر آلودگی MTBE از بنزن هم بیش‌تر می‌باشـد. بنابراین بایسـتی علاوه بر محافظت از مخازن (به ویژه مخازن بنزین) و پایش هرگونه نشت احتمالی از آن‌ها، MTBE موجود در بخ شی از بنزین تولید داخل با یک ماده کم‌تر آلاینده جایگزین گردد.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر مهدی صـدقی، عضـو هیأت علمی دانشـگاه پیام نور، که در انجام این تحقیق از هیچ کمکی دریغ نکردند، کمال تشکر و قدردانی را داریم. هم‌چنین از داوران محترم که با نظرات خود به ارتقای سـطح علمی این مقاله کمک نموده‌اند، سپاسگزاریم.

Reference

1. 1.Vaezihir A., Zare M., Raeisi E., 2010, Numerical simulation of BTEX released from six LNAPL mounds into alluvial aquifer, 15th congress institute of Iran Geology, Kharazmi University, Tehran – Iran (In Persian).
2. Vaezihir A., Zare M., Raeisi E., Molson J., Barker J., 2010, Optimization in selection of suitable method for remediation of BTEX from a pollutant alluvial aquifer by oil material, 15th congress of Iranian Geology Association, Tarbiyat Moallem University, Tehran – Iran (In Persian).
3. Azizan V., Vaezihir A., 2014, Evaluation of behavior of Benzene pollutant plume released into Groundwater from Khoy oil storage tanks yard, West Azerbaijan, Iran, Iranian Geology Association, Tarbiyat Modares University, Tehran – Iran (In Persian).
4. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC.
5. WHO, 2008 World Health organization. "Guidelines for drinking water quality", third edition. 515pp.
6. EPA, 2009 U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS) on BTEX.
7. Nikpey A., Mortazavi S. B., Asiliyan H., Khavanin A., Rezaei A., Soleimanian A., 2005, Catalytic hydrolysis of methyl tertiary butyl ether (MTBE) in groundwaters, Journal of Iranian chemistry and chemistry engineering research (In Persian).
8. Zhang, Ch. and Wang, P.Patrick. 1999. "MT3DMS", U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000.
9. Yazdandoust P., Samani N., 2013, Vulnerability of Zargan plain related to Benzene and Formalin contaminants, 32th congress and the first international seminar of Earth Science, 2013, Geology Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran (In Persian).
10. Molson, J.W., Barker, J.F., Frind, E.A. 2000. Simulation of natural attenuation and ethanol-induced benzene persistence in gasoline-contaminated aquifer. Proceeding of the Groundwater Quality 2001 Conference held at Sheffield. UK. June 2001. No.275.
11. Omidkhah M., Pourabdollah K., Chegini M., Mantegiyan M., 2007, Determination of MTBE concentration and designing permeability model into Grandwaters of Tehran plain, Journal of

Iranian chemistry and chemistry engineering research (In Persian).
12. Myrttinen, A., Boving, T., Kolditz, O. 2008. Modeling of an MTBE plume at Pascoag. Rhode Island. Journal of Springer. 57:1197-1206.
13. West Azerbaijan regional water management company, 2014, Abstract Reports of Khoy plain climatic condition (In Persian).
14. Jalali, L., 2011, Investigation of quantity and quality of groundwater resources of Khoy plain aquifer, A MSc thesis in University of Tabriz (In Persian).
15. Todd, D.K. and Mays. 2005. Groundwater Hydrogeology. Third Edition. John Wiley and Sons.
16. Molson J., 2010. A 3D Model for Groundwater Flow, and Multi-Component NAPL Dissolution with Dissolved-Phase Advective-Dispersive Transport and Biodegradation User Guide, University of Waterloo, Canada.