

مدل سازی انتقال آلودگی ناشی از نشت شیرابه محل دفن زباله های شهر رشت

محمد نخعی

دانشیار هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی

حمیدرضا ناصری

دانشیار هیدروژئولوژی، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

وهاب امیری

دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه خوارزمی

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۰

Vahab.Amiri@yahoo.com

چکیده

در مطالعه حاضر، محل دفن زباله های شهر رشت به عنوان یکی از منابع ایجاد آلودگی در مناطق شمالی کشور مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعه از نرم افزار Visual HELP برای تعیین نرخ تولید شیرابه و از نرم افزار HYDRUS 3D برای بررسی نحوه انتقال آلودگی ناشی از شیرابه استفاده شد. بر اساس شرایط ساختاری محل دفن زباله ها و همچنین شرایط اقلیمی منطقه، میزان تولید شیرابه از کف این محل و نشت از آن معادل ۰/۶۹ متر بر سال تعیین شد. در این مطالعه از نیتروژن گونه آمونیوم ($N(NH_4^+)$) به عنوان عامل پایدار در محیط استفاده شد. نقاط p_1 و p_2 که به ترتیب در زیر بلوک های ۱ و ۳ محل دفن زباله ها قرار دارد نشان می دهد که افزایش غلظت نیتروژن آمونیوم در محیط تا ۴ سال از شروع نشت شیرابه صورت می گیرد و پس از آن این غلظت شروع به کاهش می کند تا اینکه در p_1 غلظت تقریبی ۵۰۰ و در p_2 این مقدار به بیش از ۶۰۰۰ میلیگرم بر متر مکعب می رسد و یکنواخت می شود. بررسی نقطه p_5 که در ۶۱۰ متری انتهای غربی محل دفن زباله ها قرار دارد نشان می دهد که پالس آلودگی پس از ۲ سال و با غلظت تقریبی ۱ میلیگرم بر متر مکعب به منطقه وارد می شود. منحنی تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در نقطه p_7 که در ۷۵۰ متری شمال محل دفن زباله ها واقع شده است، از ورود غلظت ۴۵ میلیگرم بر متر مکعبی پس از ۱۰ سال به این منطقه دلالت دارد. بررسی منحنی تغییرات غلظت نقاط p_8 تا p_{12} در محیط سنگ کف نشان می دهد که در بازه زمانی ۵۰ ساله، به دلیل ناچیز بودن غلظت نفوذی به محل قرارگیری این نقاط می توان عنوان کرد که نفوذ و انتقال آلودگی تنها در قسمت رسوبی بالایی صورت می گیرد.

واژه های کلیدی: شیرابه، محل دفن زباله ها، آلودگی، مدل سازی، رشت

مقدمه

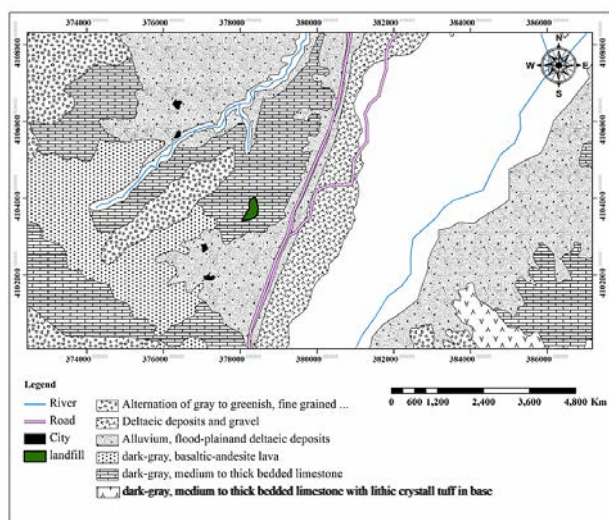
نمک افشانی بر جاده ها و مواد شیمیایی مرتبط، مخزن های گازی زیرزمینی دارای نشت، نشت از مخازن مواد نفتی و در نهایت استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی آلوده شوند. تولید روزافزون زباله در کشور و در عین حال نبود سیستم های امحاء مناسب در این زمینه که در نهایت منجر به دفع زباله در دشت های کشور به صورت روباز شده است، خطر جدی آلودگی آبخوان های کشور را در محل دفن زباله ها بوجود آورده است. با توجه به اینکه در انتخاب محل دفن زباله های شهر رشت هیچکدام از اصول ضروری در ساخت یک محل

در نقاط زیادی از دنیا مردم با مشکل کمبود آب روبرو هستند، زیرا منابع آبی بیشتر از میزانی که تغذیه می شوند در حال تخلیه از طرف مردم بوده و علاوه بر این فعالیت های بشری نیز روز به روز بر آلودگی همین منابع در حال زوال افزوده و میزان آب شیرین در دسترس را کاهش داده است. آب های زیرزمینی می توانند توسط لندفیل ها، مخازن دفن فاضلاب، استفاده بیش از حد

خصوصیات منطقه

الف) زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در جنوب شرقی شهرستان رشت و در منطقه سراوان واقع شده است. محل دفن زباله‌های شهر رشت واقع در منطقه سراوان تنها محل دفن پسماندهای شهر رشت می‌باشد که در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب شهر رشت و در ارتفاع ۲۰۰ متری واقع شده است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ مربوط به محدوده مورد مطالعه، قدیمی‌ترین سازندها مربوط به دوران مزوزوئیک و دوره تریاس پسین می‌باشد. شاخص‌ترین تشکیلات موجود در این منطقه که از لحاظ قرارگیری محل دفن زباله‌های شهر رشت بر روی آن دارای بیشترین اهمیت می‌باشد، تشکیلات آهکی مربوط به زمان کرتاسه پیشین است (شکل ۱). البته باید خاطر نشان کرد که در این نقشه، محل دفن زباله‌های شهر رشت بر تشکیلات آهکی نمایش داده شده است که در مطالعات ژئوفیزیکی که در این منطقه انجام شد مشخص شد که ساختمان محل دفن بر تشکیلات آهکی قرار نگرفته است که این موضوع در ادامه بررسی شده است.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه و موقعیت محل دفن زباله‌های شهر رشت

ب) مطالعات ژئوفیزیکی

به منظور تحلیل ساختار زمین‌شناسی منطقه از نتایج بدست آمده از انجام ۴ سونداژ ژئوالکتریکی که در اطراف محل دفن زباله‌ها صورت گرفت؛ استفاده شد. (شکل ۲ و جدول ۱).

بهداشتی جهت دفن زباله‌ها رعایت نشده است و علاوه بر این در این محل، پوشش زباله‌ها با رسوبات و متراکم نمودن آن به منظور کاهش شستشو توسط بارندگی و نفوذ شیرابه به لایه‌های زیرین به درستی و کامل صورت نمی‌گیرد، این منطقه استعداد زیادی برای آلوده کردن منابع آبی و خاکی منطقه دارد. در این رابطه به نظر می‌رسد با توجه به عدم انجام هیچگونه مطالعه‌ای جهت شناسایی ساختار محل دفن زباله‌ها، انجام مطالعات ژئوفیزیکی و حفر گمانه‌های ژئوتکنیکی می‌تواند در شناخت ساختار و ترکیب زیرسطحی منطقه بسیار مفید باشد. علاوه بر این می‌توان با انجام مدلسازی نحوه انتقال آلودگی ناشی از نشت شیرابه از این محل، مناطق مستعد آلودگی را که در جهت جریان موج آلودگی هستند شناسایی کرده و غلظت آلودگی را به صورت تابعی از زمان و در هر نقطه برآورد کرد که در برخی مناطق که با هجوم موج آلودگی مواجه هستیم به موقع آنها را از رده بهره‌برداری خارج کنیم. در مواردی نیز می‌توان با مدلسازی انتقال آلودگی، مناطقی را که در مسیر انتقال آلودگی با بیشترین غلظت هستند شناسایی کرده و با حفر چاه‌های پمپاژ اقدام به پمپاژ آب آلوده و انتقال آن به واحدهای تصفیه‌ای کرد و بدین ترتیب از حرکت آلودگی به مناطق پایین دست جلوگیری کرد. در رابطه با بررسی انتقال آلودگی از محل لندفیل‌ها و محل‌های دفن زباله مطالعات متعددی صورت گرفته که چند نمونه به اختصار عنوان می‌شود. مدلسازی انتقال آلودگی از محل دفن زباله در اوگاندا که با استفاده از نرم‌افزار FEMLAB انجام شد، زمانی نزدیک به ۴۰ ساعت را برای طی مسیر از محل تولید تا رسیدن موج آلودگی به آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. (MD. Tauhid-Ur-Rahman, 2009). مطالعه و مدلسازی لندفیل در مناطق ساحلی لبنان که با استفاده از روش‌های حل FDM و FVM و بهره‌گیری از Visual HELP انجام شد نشان داد که کنتورهای غلظت شیرابه حتی در ۷۵ سال آینده نیز به مناطق پایین‌دست نخواهد رسید (Sadrnejad, 2009). در مطالعه‌ای که با هدف تعیین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی توسط شیرابه رها شده از یک لندفیل با مساحت ۲۲ هکتار در مانیل فیلیپین صورت گرفته است، مدل سه‌بعدی جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی با استفاده از مدل FEMWATER از سیستم مدلسازی آب زیرزمینی (GMS) تهیه شد. در این مطالعه از نرم‌افزار Visual HELP در تعیین نرخ شیرابه تولیدی از محل این لندفیل و نفوذ به مناطق زیرسطحی استفاده شد. مدلسازی انتقال آلودگی برای یک ترکیب غیرواکنشی در یک بازه زمانی ۵۰ ساله صورت گرفت که مشاهده آلودگی ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر برای ۴ تا ۵ سال بعد و ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر برای ۱۰ سال آینده پیش‌بینی شد. (Rojas و همکاران، 2004). در این مطالعه، با توجه به ضرورت بررسی محل دفن زباله‌های شهر رشت، از مطالعات ژئوالکتریکی جهت بررسی ساختمان، از مطالعات هیدرولوژیکی محل دفن زباله‌ها به منظور تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی و همچنین تعیین نرخ نشت شیرابه به لایه‌های زیرین استفاده شده است و نهایتاً مدلسازی انتقال آلودگی ناشی از نشت شیرابه به منظور تعیین روند انتقال دنبال شده است.

جدول ۱. نتایج حاصل از انجام سونداژ ژئوالکتریکی در اطراف محل دفن زباله‌های شهر رشت

شماره سونداژ	توضیحات
سونداژ ژئوالکتریکی شماره ۱	پس از رسوبات ریزدانه و کم ضخامت سطحی، لایه‌ای سنگی با درز و شکاف بالا که احتمالاً دگرگون شده می‌باشند قرار گرفته است که این ساختار سنگی تا عمق ۲۰ متری ادامه دارد. دومین تشکیلات زمین‌شناسی موجود در این محل که تا عمق ۳۲ متری ادامه دارد، لایه‌های مارنی یا آذرین بیرونی مثل توف می‌باشد. از عمق ۳۲ متری به بعد با افزایش شدید مقاومت ویژه محیط مواجه هستیم که بیانگر لایه‌های بسیار متراکم است و می‌توان آنرا به عنوان سنگ بستر در نظر گرفت.
سونداژ ژئوالکتریکی شماره ۲	پس از رسوبات سطحی این ناحیه، افزایش شدید مقاومت ویژه محیط نشان‌دهنده لایه‌ای نیمه متراکم و سنگی تا عمق ۱۱/۵ است. پس از این لایه سنگی نیز لایه‌های رسی و مارنی تا عمق ۳۴ متری ادامه دارد که پس از آن نیز لایه‌های بسیار متراکم با مقاومت ۳۶۰۰ اهم‌متری قرار دارد که می‌توان آنرا به عنوان سنگ بستر منطقه در نظر گرفت.
سونداژ ژئوالکتریکی شماره ۳	پس از رسوبات سطحی کم ضخامت، لایه‌ای نیمه‌متراکم سنگی تا عمق ۴ متری ادامه دارد. پس از لایه نیمه‌متراکم سنگی، لایه‌های رسی یا مارنی به تناوب قرار گرفته‌اند.
سونداژ ژئوالکتریکی شماره ۴	پس از لایه سطحی، در عمق ۴/۵ متری به یک لایه سنگی نیمه‌متراکم قرار گرفته است. پس از لایه سطحی، لایه‌های مارنی و احتمالاً توفی به صورت متناوب تکرار می‌شوند.



شکل ۲. موقعیت سونداژهای انجام شده در اطراف محل دفن زباله‌های شهر رشت

ج) ویژگی‌های اقلیمی شهرستان رشت

با توجه به اینکه خصوصیات اقلیمی محدوده مورد مطالعه می‌تواند در تعیین میزان پارامترهای هیدرولوژیکی محل دفن زباله‌ها مؤثر باشد، برخی از پارامترهای اقلیمی این محدوده در جدول ۲ ارائه شده است (سازمان هواشناسی استان گیلان، ۱۳۹۰).

جدول ۲. خلاصه وضعیت اقلیمی شهرستان رشت

پارامتر اقلیمی	میانگین یا متوسط سالانه
دما	۱۵/۹ درجه سانتیگراد
رطوبت نسبی هوا	۸۱/۹ درصد
بارندگی	۱۳۵۹ میلیمتر
تعداد روزهای یخبندان	۲۵ روز

د) هیدرولوژی و هیدروژئولوژی محدوده مطالعاتی

محدوده رشت و منطقه مورد مطالعه واقع در سراوان بخشی از محدوده مطالعاتی فومنات واقع در حوضه آبریز سفیدرود و تالش- بندر انزلی می‌باشد. محدوده‌ای که محل دفن زباله شهرستان رشت در آن واقع شده است دارای ساختاری بسته بوده و خود یک حوضه آبریز مجزا را تشکیل می‌دهد که جریان آب سطحی و زیرزمینی به سمت شمال و رودخانه چیلی رودخان که یکی از سرشاخه‌های رودخانه سیاهرود می‌باشد صورت می‌گیرد. رسوبات آبرفتی موجود در محدوده مطالعاتی (اطراف محل دفن زباله‌های شهر رشت) دارای ضخامت و توسعه بالایی نیستند، بنابراین نمی‌توان آبخوانی با توان تأمین بالا را در این منطقه متصور شد. تشکیلات آهکی موجود در محدوده مطالعاتی فومنات دارای آبدهی ویژه ۵/۳۳ لیتر در ثانیه بر کیلومتر مکعب و هدایت الکتریکی ۱۵۰ تا ۱۰۰۰ میکرومهموس بر سانتیمتر می‌باشد. (مهندسين مشاور کنکاش

وجود ضخامت‌های متفاوتی از زباله در نقاط مختلف منطقه می‌باشیم، به منظور بررسی دقیق‌تر، محل دفن مورد نظر بر اساس مشاهدات و اندازه‌گیری‌های صحرائی، تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و سوال از مسئولین مطلع در سازمان مدیریت پسماند خشک استان گیلان به سه بلوک تقسیم شد (جدول ۳ و شکل ۳).

جدول ۳. بلوک‌های مجزا شده از محل دفن زباله‌های شهر رشت

شماره بلوک	مساحت (هکتار)	ضخامت زباله (متر)	زاویه کف بلوک (درجه)
۱	۶/۵	۴۵	۲۵
۲	۲	۱۵	۱۸
۳	۲/۸	۲۰	۱۵



شکل ۳. محدوده مورد مطالعه و بلوک‌های مجزای شده محل دفن زباله‌ها

بر طبق استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)، تراکم استاندارد زباله‌های دفن‌شده در یک محل که پس از تخلیه زباله‌ها، عملیات متراکم کردن و اضافه کردن پوشش رسوبی به آن صورت می‌گیرد؛ برابر ۳۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. با توجه به اینکه این موارد در محل دفن زباله‌های شهر رشت نیز صورت می‌گیرد و علاوه بر این، هیچگونه آنالیز و مطالعه‌ای که نشان‌دهنده میزان تراکم زباله در این منطقه باشد وجود ندارد، بنابراین تراکم زباله‌ها معادل مقدار پیشنهادی EPA در نظر گرفته شد و پارامترهای هیدرولیکی مربوط به این نوع زباله در نرم‌افزار Visual HELP تخمین زده شد (جدول ۴).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه ابتدا مباحثی در مورد خصوصیات هیدرولوژیکی محل دفن زباله‌ها با استفاده از نرم‌افزار Visual HELP صورت گرفت و خروجی‌های این مدل بویژه نرخ، حجم و درصد تولید شیرابه برای هر سال و همچنین یک دوره زمانی ۱۵ و ۵۰ ساله مورد توجه قرار گرفت. در ادامه، روند پژوهش با بهره‌گیری از مدل HYDRUS 3D به عنوان کاربردی‌ترین مدل استفاده شده در این مطالعه مورد توجه قرار گرفت. تعیین سرعت حرکت، غلظت، شار و توزیع آلودگی به عنوان اصلی‌ترین هدف مطالعه و با توجه به شرایط مرزی و شرایط اولیه وارد شده به مدل برای دوره زمانی ۵۰ ساله دنبال شد. دو بخش اصلی مطرح شده در این مطالعه از طریق دو ابزار نرم‌افزاری انجام‌پذیر است که به صورت زیر معرفی می‌شوند:

۱- ارزیابی هیدرولوژیکی عملکرد محل دفن زباله‌ها (HELP۱) با استفاده از نرم‌افزار Visual HELP

برنامه HELP یک مدل هیدرولوژیکی شبه دویبعی است که برای تحلیل بیلان آبی محل دفن زباله‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نرم‌افزار، رواناب بر اساس روش SCS تعیین می‌شود، قانون داری برای زهکشی عمودی که تنها متأثر از گرانش است مورد استفاده قرار می‌گیرد علاوه بر این، هدایت هیدرولیکی منطقه غیراشباع با استفاده از معادله کمپل ۲ و با بهره‌گیری از پارامترهای بروک- کوری ۳ محاسبه می‌شود (راهنمای نرم‌افزار Visual HELP 2.2).

۲- تهیه مدل جریان و انتقال آلودگی با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS 3D
نرم‌افزار HYDRUS برای شبیه‌سازی دو و سه‌بعدی جریان آب، انتقال حرارت و انتقال مواد محلول در شرایط اشباع‌شدگی متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این برنامه معادله ریچاردز را برای جریان آب در محیط اشباع- غیراشباع و معادله نوع فرافرت- پراکندگی ۴ را برای انتقال حرارت و مواد محلول، به صورت عددی حل می‌کند (راهنمای نرم‌افزار HYDRUS 1.06 3D).

بحث

الف) تحلیل عملکرد هیدرولوژیکی محل دفن زباله‌ها

در منطقه مورد مطالعه، به دلیل توپوگرافی ناهموار و شرایط محل دفن مورد نظر که دارای ساختاری نامتوازن و هتروژن بوده و علاوه بر این، شاهد

- 1- The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance
- 2- Campbell equation
- 3- Brooks- Corey parameters
- 4- Convection- dispersion

جدول ۵. پارامترهای هیدرولوژیکی بلوک ۱ محل دفن زباله‌های شهر رشت برای بازه زمانی ۱۵ ساله

کل حجم سالانه (m ³)	کل نرخ سالانه (m)	
۱۴۵۰۰۰۰	۲۲/۳	بارش
۱۷۳۰۰	۰/۲۶۶	رواناب
۷۸۳۰۰۰	۱۲	تبخیر- تعرق
-۹۴۷۰	-۰/۱۴۵	تغییر در ذخیره آبی
-۰/۰۲۱۸	-۰/۰۰۰۰۰۰۳۳۵	بیلان
۱۳۷۰۰۰۰۰	۲۰۲	آب خاک
۶۶۰۰۰۰	۱۰/۱	نفوذ یا نشت از لایه

جدول ۴. ویژگی‌های هیدرولیکی و پارامترهای مرتبط با نشت عمودی از لایه‌های ورودی نرم‌افزار HELP

پارامترهای نفوذ عمودی	تخلخل کل (vol/vol)	زباله شهری
	۰/۶۷۱	
	ظرفیت مزرعه (vol/vol)	۰/۲۹۲
	نقطه پژمردگی (vol/vol)	۰/۰۷۷
	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/day)	۸۶/۴
	آب ورودی زیرسطحی	۰

جدول ۶. پارامترهای هیدرولوژیکی بلوک ۲ محل دفن زباله‌های شهر رشت برای بازه زمانی ۱۵ ساله

کل حجم سالانه (m ³)	کل نرخ سالانه (m)	
۴۴۶۰۰۰	۲۲/۳	بارش
۷۰۴	۰/۰۳۵۲	رواناب
۲۴۱۰۰۰	۱۲	تبخیر- تعرق
-۴۴۱۰	-۰/۲۲	تغییر در ذخیره آبی
-۰/۰۰۶۷۱	-۰/۰۰۰۰۰۰۳۳۵	بیلان
۱۳۸۰۰۰۰	۶۹/۳	آب خاک
۲۰۹۰۰۰	۱۰/۴	نفوذ یا نشت از لایه

جدول ۷. پارامترهای هیدرولوژیکی بلوک ۳ محل دفن زباله‌های شهر رشت برای بازه زمانی ۱۵ ساله

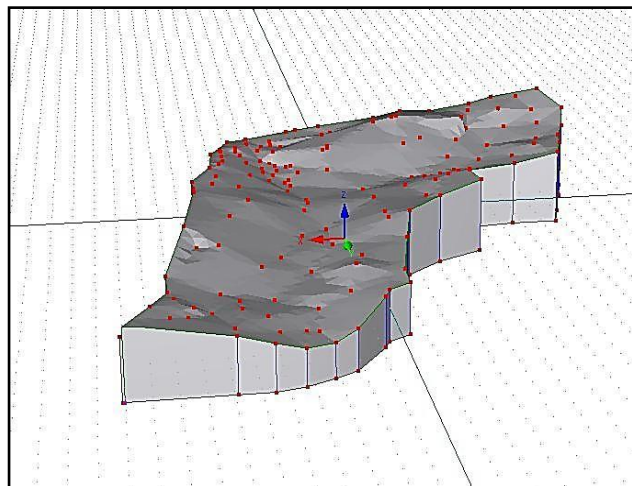
کل حجم سالانه (m ³)	کل نرخ سالانه (m)	
۶۲۵۰۰۰	۱۲/۳	بارش
۸۴۲۰	۰/۰۳	رواناب
۳۳۷۰۰۰	۱۲	تبخیر- تعرق
-۶۲۱۰	-۰/۲۲۲	تغییر در ذخیره آبی
-۰/۰۰۹۳۹	-۰/۰۰۰۰۰۰۳۳۵	بیلان
۲۵۵۰۰۰۰	۹۱/۳	آب خاک
۲۸۶۰۰۰	۱۰/۲	نفوذ یا نشت از لایه

جدول ۸. کل شیرابه تولیدی توسط محل دفن زباله‌ها در بازه زمانی ۱۵ سال واقعی و ۵۰ سال شبیه‌سازی

ساله ۱۵	ساله ۵۰		
۱۰/۱	۳۵/۳	بلوک ۱	نشت کلی از محل دفن زباله (m)
۱۰/۴	۳۶/۳	بلوک ۲	
۱۰/۲	۳۵/۴	بلوک ۳	

در ادامه، تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی محل دفن زباله‌های شهر رشت براساس خصوصیات تعریف شده زباله در این محل (تراکم، ضخامت، شیب کف و مساحت) و همچنین اطلاعات اقلیمی مورد نیاز نرم‌افزار Visual HELP جهت انجام محاسبات (دما، بارش و تابش خورشیدی) صورت گرفت. به منظور برداشت داده‌های دما، بارش و تابش خورشیدی که اصلی‌ترین داده‌های مورد نیاز نرم‌افزار برای انجام محاسبات و بررسی‌های هیدرولوژیکی محل دفن زباله‌ها می‌باشد، از ایستگاه رشت به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیکی به منطقه سراوان و محل مورد نظر استفاده شد. نبود داده‌های پیوسته و بلندمدت در رابطه با موقعیت مورد نظر منجر به تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی آن با استفاده از داده‌های کوتاه‌مدت منطقه (بازه ۱۵ ساله ۱۳۸۹-۱۳۷۵)) شد (جدول ۵، ۶ و ۷). با توجه به اینکه تولید شیرابه و نشت آن به لایه‌های زیرین به طور مداوم ادامه دارد و هدف اصلی این پژوهش نیز بررسی نحوه و نرخ انتقال شیرابه و مدلسازی حرکت آن در بازه بلند مدت (۵۰ ساله) می‌باشد، شرایط اقلیمی (دما، بارش و تابش خورشید) با استفاده از نرم‌افزار HELP و به صورت تصادفی مد نظر قرار گرفت که البته در این مورد از داده‌های واقعی ۱۵ ساله به عنوان پایه اطلاعاتی و مبنای شبیه‌سازی داده‌ها استفاده شده است. پس از شبیه‌سازی ۵۰ ساله شرایط اقلیمی در منطقه مورد مطالعه، بار دیگر مدل برای هر سه بلوک اجرا شد. ادغام و جمع‌بندی نتایج حاصل از بررسی ۱۵ و ۵۰ ساله عملکرد هیدرولوژیکی محل دفن زباله‌ها در قالب جداول ۸ و ۹ ارائه شده است. با توجه به جدول بالا می‌توان نرخ نشت را در بازه ۱۵ و ۵۰ ساله به طور متوسط برابر با ۰/۶۹ متر در هر سال در نظر گرفت. در مراحل بعدی این مقدار به عنوان ورودی نرم‌افزار HYDRUS در تعیین شرایط مرزی محل دفن زباله‌ها (شکل ۴) مورد استفاده قرار گرفت.

پوشش جنگلی، ارتفاع نقاط برداشت شده در این مناطق تعدیل شد. این تعدیل ارتفاع برای نقاط برداشت شده از سطح محل دفن زباله‌ها و با استفاده از ضخامت تقریبی محل دفن زباله‌ها در هر بخش آن صورت گرفت.



شکل ۵. ساختار کلی محدوده مورد مطالعه و موقعیت نقاط ورودی برای ساخت آن

تعیین پارامترهای جریان و انتقال آلودگی

در این مطالعه از مدل هیدرولیکی Van Genuchten-Mualem استفاده شده که در این مدل نیز شرایط به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که هیچگونه پسماندی در محیط وجود ندارد. تلفیق نتایج حاصل از سونداژهای ژئوالکتریکی و تحلیل دانه‌بندی ۴ مورد نمونه تهیه شده از رسوبات سطحی و عمقی محدوده اطراف محل دفن زباله‌های شهر رشت منجر به در نظرگیری رسوباتی از جنس ماسه رسی سیلتی برای محدوده مورد مطالعه شد. پس از تعیین جنس رسوبات با استفاده از بررسی دانه‌بندی و نتایج ژئوالکتریکی منطقه، اطلاعات هیدرولیکی و پارامترهای معادله Van Genuchten-Mualem برای این نوع رسوب که با استفاده از مدول پیش‌بینی کننده مبتنی بر شبکه عصبی تعیبه شده در نرم‌افزار HYDRUS و بر اساس درصد ماسه، رس و سیلت محاسبه گردید؛ به مدل وارد شد (راهنمای نرم افزار HYDRUS 1.06 3D)، (جدول ۱۰). در این جدول، θ_r رطوبت باقیمانده، θ_s رطوبت اشباع، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع، α و n ضرایب تجربی تأثیرگذار بر توابع هیدرولیکی می‌باشد. در بررسی مواد و جنس‌های موجود در محیط و محاسبات مربوط به نحوه جریان انتقال آلودگی فرض بر این بود که هیچگونه آنیزوتروپی وجود ندارد. در مبحث انتقال آلودگی، برای وزندهی زمانی ۹ از الگوی کرانک-

جدول ۹. نرخ نشت از کف محل دفن زباله‌ها در بازه زمانی ۱۵ سال واقعی و ۵۰ سال شبیه‌سازی شده

ساله	ساله	بلوک	نرخ نشت از محل دفن زباله (m)
۰/۷	۰/۶۷	۱	
۰/۷۲	۰/۶۹	۲	
۰/۷	۰/۶۸	۳	میانگین نرخ نشت (m)
۰/۷	۰/۶۸		



شکل ۴. بخشی از محل دفن زباله‌های شهر رشت

ب) تهیه مدل جریان و انتقال آلودگی

در این بخش که مهم‌ترین و اصلی‌ترین بخش پژوهش محسوب می‌شود، تمامی بررسی‌ها و نتایج بدست آمده از مراحل قبل در جهت حصول نتایج تکمیلی و نهایی این مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رابطه باید خاطر نشان کرد عناوین و اصطلاحاتی که بدون مقدمه ذکر می‌شوند، در مباحث مدلسازی انتقال آلودگی و بخصوص در راهنمای نرم‌افزارهای استفاده شده در این مطالعه قابل پیگیری است.

هندسه کلی محدوده مطالعاتی

ساخت مدل منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار HYDRUS 3D و استفاده از موقعیت جغرافیایی ۲۱۰ نقطه در این محدوده صورت گرفت (شکل ۵). نقاط اطراف محل دفن زباله‌ها با استفاده از GPS و سایر نقاط با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بسته Google Earth استخراج شد (خطای برداشت ارتفاع در حدود ۱ متر می‌باشد). در همین زمینه با توجه به ارتفاع

6- Hysteresis

7- Residual water content

8- Saturated water content

9- Time weighting

تعیین شرایط اولیه مدل

با توجه به مدلسازی همزمان جریان و انتقال آلودگی، شرایط اولیه ۱۳ به صورت بار هیدرولیکی برای جریان و غلظت ماده محلول برای بررسی بعدی نحوه انتقال به مدل وارد شد. برای این منظور، با توجه به توپوگرافی کلی منطقه و تعیین سطح آب با استفاده از سونداژهای ژئوفیزیکی انجام شده در اطراف محل دفن زباله‌ها و همچنین برداشت سطح آب از یک چاه در خروجی محدوده مورد مطالعه، پراکندگی بار هیدرولیکی در محدوده مورد نظر به مدل اعمال شد. نتایج حاصل از مطالعات ژئوالکتریکی نشان می‌دهد که پس از ضخامت تقریباً ۸ متری رسوبات سطحی، به لایه‌های نیمه‌متراکم بسیار درز و شکافدار مواجه می‌شویم که در رابطه با بررسی نحوه جریان آب و انتقال آلودگی توسط آن تنها می‌توان تأثیر رسوبات سطحی و چند متر بالایی تشکیلات شدیداً درز و شکافدار را مورد توجه قرار داد که جمعاً ضخامتی در حدود ۱۲ متر دارد. در این منطقه، تقریباً می‌توان پایین‌تر از عمق ۱۲ متر را به عنوان سنگ بستر در نظر گرفت. در این مورد، با توجه به اینکه تا عمق ۱۲ متری منطقه را می‌توان به عنوان محدوده دارای جریان هیدرولیکی در نظر گرفت بنابراین، توزیع بار هیدرولیکی تا این عمق صورت گرفت. در این مورد نیز توجه به اینکه نشت شیرابه از محل دفن زباله‌ها با نرخ مشخص که با استفاده از نرم‌افزار Visual HELP تعیین شد به صورت مداوم به لایه‌های زیرین صورت می‌گیرد و به عبارتی دیگر، این ناحیه همیشه اشباع می‌باشد، بار هیدرولیکی در این ناحیه از نوع بار ثابت ۱۴ و برابر با صفر در نظر گرفته شد. غلظت اولیه مواد محلول برای ورود به مدل با استفاده از تجزیه و تحلیل یک نمونه آب در بلافاصل محل دفن زباله‌ها و در کانال موجود در پایین‌دست آن تهیه شد. در مطالعه حاضر، غلظت نیتروژن آمونیوم ($N(NH_4^+)$) به عنوان یک گونه ماده محلول پایدار در محیط^{۱۵} (بدون اینکه با محیط وارد واکنش شود مشابه استفاده از کلراید در مطالعات هیدروشیمیایی) برای ورود به مدل و بررسی نحوه انتقال آن مورد استفاده قرار گرفت. این ماده را می‌توان به عنوان معرفی^{۱۶} که کمترین کاهش را در طی مسیر انتقال و غلظت نسبتاً بالایی در شیرابه داشته باشد برای ردیابی انتقال آلودگی مدنظر قرار داد (Kruempelbeck and Ehrig, 1999).

در این مطالعه از نتایج تجزیه و تحلیل یک نمونه تهیه شده از شیرابه در اواخر تابستان سال ۱۳۹۰ که با بیشترین غلظت مواد محلول موجود در شیرابه و به تبع آن نیتروژن آمونیوم (غلظت شدن شیرابه و مواد تشکیل‌دهنده آن به دلیل بارش کمتر) مواجه هستیم استفاده شد. در نمونه آزمایش شده، بیشترین غلظت NH_4^+ برابر با ۹۸/۰۴ میلی‌گرم بر لیتر بود که با استفاده از روابط

نیکلسون ۱۰ استفاده شد. در تعیین الگوی وزن‌دهی مکانی نیز، عناصر محدود گالرکین ۱۱ مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، شرایط مدل برای شبیه‌سازی یک نوع ماده محلول (نیتروژن آمونیوم $N(NH_4^+)$) آماده شد. علاوه بر این، پیچ و خم‌وارگی ۱۲ محیط نیز در نظر گرفته شد و انتقال مواد محلول بدون اثرپذیری از دما و واکنش‌های موجود در محیط صورت می‌گیرد. پارامترهای ویژه خاک و ماده محلول از نظر انتقال آلودگی به صورتی است که در جداول ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است. مقادیر پراکندگی طولی و عرضی مربوط به رسوبات مورد نظر با استفاده از نتایج حاصل از ردیابی حرارتی این نوع رسوبات تعیین شده است (Sykes, 1983). مقدار ضرایب انتشار مولکولی نیتروژن آمونیوم $N(NH_4^+)$ در آب و محیط غیراشباع بر اساس مطالعات E. Bou-Zeid, M. Rouholahnejad & Sadrnejad, (۲۰۰۴) ارائه شده است (El-Fadel, 2009).

جدول ۱۰. خصوصیات مواد و جنس‌های در نظر گرفته شده در مدل منطقه از نظر جریان آب

جنس	θ_r	θ_s	K_s	α	N
ماسه‌رسی سیلت دار	۰/۰۷۴	۰/۴	۳۱/۰۶	۲/۲۹	۱/۳۱

جدول ۱۱. پارامترهای ویژه خاک در رابطه با انتقال آلودگی

جنس	پارامترهای ویژه خاک		
	پراکندگی عرضی (m)	پراکندگی طولی (m)	دانسیته کل (kg/m^3)
ماسه رسی سیلت دار	۰/۱۵	۱/۱۳	۲۷۰۰

جدول ۱۲. پارامترهای ویژه ماده محلول در رابطه با انتقال آلودگی

جنس	پارامترهای ویژه ماده محلول	
	ضریب انتشار مولکولی در خاک (m)	ضریب انتشار مولکولی در آب آزاد (m^2/y)
$N(NH_4^+)$	۰	۰/۰۶

13- Initial condition

14- Constant head

15- Conservative species

16- Indicator

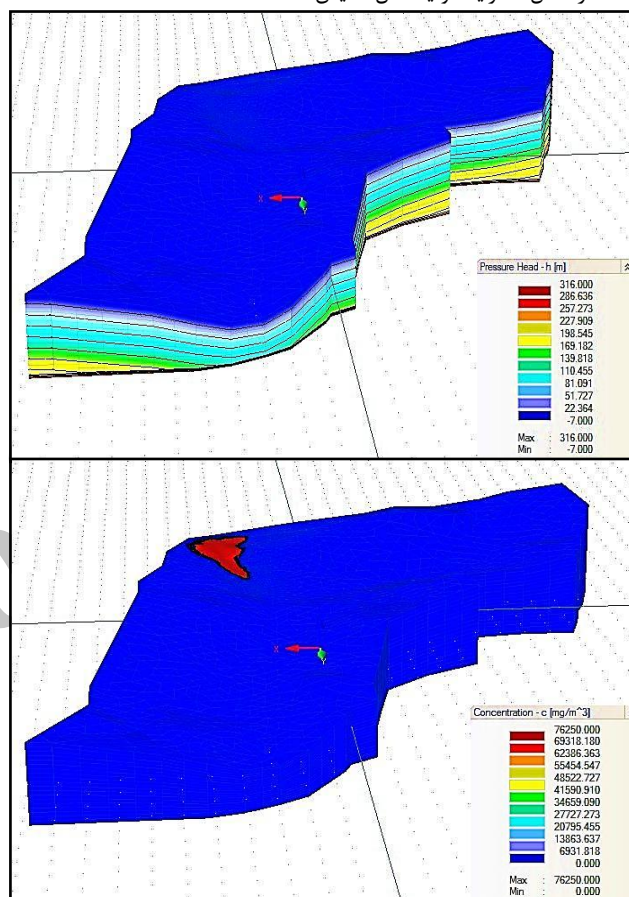
10- Crank – Nicholson scheme

11- Galerkin finite elements

12- Tortuosity

در محیط HYDRUS اضافه شد. دومین نوع شرط مرزی در پایین دست منطقه و در خروجی هیدرولیکی محدوده مطالعاتی (با توجه به مدل مفهومی منطقه) اعمال شد. برای این ناحیه از مرز با نوع شار متغیر^{۱۸} استفاده شد زیرا با توجه توپوگرافی و ساختار زیرسطحی منطقه حدس زده می شود که جریان آب و به تبع آن انتقال آلودگی به سمت پایین دست ولی با نرخ نامعلوم صورت گیرد. سومین شرط مرزی در سطح محدوده مورد مطالعه اعمال شد که در این مورد از مرز نوع بار متغیر^{۱۹} استفاده شد. برای این منظور با توجه به ساختار جنگلی محدوده مورد مطالعه از پارامترهای مؤثر در تغییر بار هیدرولیکی مانند میزان تبخیر و تعرق در سطح منطقه استفاده شد. بر اساس بررسی های انجام شده، میزان تبخیر و تعرق برابر ۲/۵ میلیمتر بر روز (معادل ۰/۹۱ متر بر سال) در نظر گرفته شد (زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۸۹). چهارمین شرط مرزی که در این مدل اعمال شده است، مرز بدون شار^{۲۰} می باشد که برای تمام محدوده بیرونی مدل در نظر گرفته شد (شکل ۷، بالا). تعیین شرایط مرزی مدل برای انتقال آلودگی بر اساس شرایط در نظر گرفته شده برای جریان آب صورت گرفت. در این زمینه از مرز نوع سوم (Cauchy type) که به توصیف شار غلظت در طول یک قطعه از عنصر می پردازد استفاده شد. سایر نقاط و قسمت های مدل دارای شرط مرزی بدون شار در نظر گرفته شد (شکل ۷، پایین). به منظور بررسی نحوه انتقال آلودگی از تعداد ۱۲ نقطه مشاهده ای^{۲۱} برای بررسی تغییرات کمی ماده محلول مورد نظر (نیتروژن آمونیوم $N(NH_4^+)$) در سطوح مختلف ارتفاعی محدوده مورد مطالعه استفاده شد. در شکل ۸ موقعیت نقاط مشاهده ای در قاعده لایه رسوبی سطحی (عمق ۱۲ متری) نمایش داده شده است. پس از اجرای مدل (در محیط نرم افزار HYDRUS 3D 1.06)، منحنی غلظت نیتروژن آمونیوم در نقاط مشاهده ای برای انجام تحلیل ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۱۳، تفسیر منحنی غلظت نیتروژن آمونیوم ۷ نقطه مشاهده ای در نظر گرفته شده در عمق ۱۲ متری کف محل دفن زباله ها ارائه شده است. شکل های ۹ تا ۱۵ نیز منحنی تغییرات غلظت این نقاط را نمایش می دهند.

استوکيومتری، میزان غلظت نیتروژن موجود در آن که برای ردیابی در محیط مدنظر قرار دارد برابر ۷۶/۲۵ میلیگرم بر لیتر تعیین شد. این میزان نیتروژن معادل ۷۶۲۵۰ میلیگرم بر متر مکعب می باشد که به صورت منشأ نقطه ای پیوسته و در کل محدوده محل دفن زباله ها در حال اضافه شدن به محیط است. در شکل ۶ شرایط اولیه مدل نمایش داده شده است.



شکل ۶. اعمال شرایط اولیه جریان (بالا) و ماده محلول (پایین) به محدوده مورد مطالعه (محدوده قرمز رنگ (شکل سمت چپ) نشأت پیوسته نیتروژن آمونیوم با غلظت ۷۶۲۵۰ میلیگرم بر متر مکعب را نشان می دهد).

تعیین شرایط مرزی مدل

در بحث تعیین شرایط مرزی مربوط به جریان آب، چهار نوع شرط مرزی مورد استفاده قرار گرفت. اولین شرط مرزی برای فضای کلی محل دفن زباله ها اعمال شد که برای این منظور از مرز نوع شار ثابت^{۱۷} استفاده شد. دلیل انتخاب این نوع شرط مرزی، نتایج حاصل از بررسی های هیدرولوژیکی صورت گرفته توسط نرم افزار HELP می باشد که در این بررسی ها، نرخ نشأت از کف محل دفن زباله ها برابر با ۰/۶۹ متر بر سال تعیین شد که همین مقدار نیز نهایتاً به عنوان مقدار مورد نیاز جهت در نظر گرفتن مرز با شار ثابت، به مدل تهیه شده

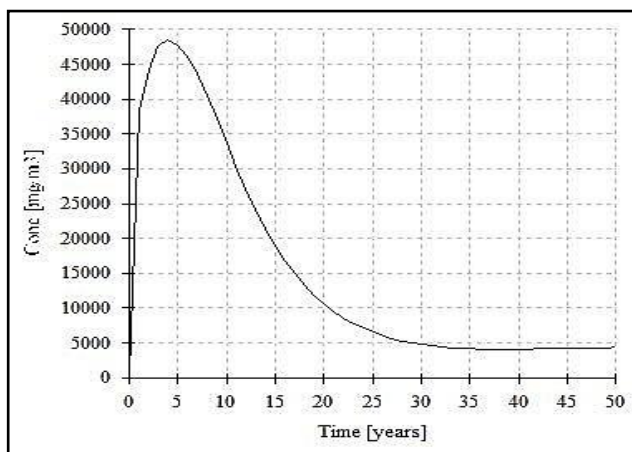
17- Constant flux

18- Variable flux

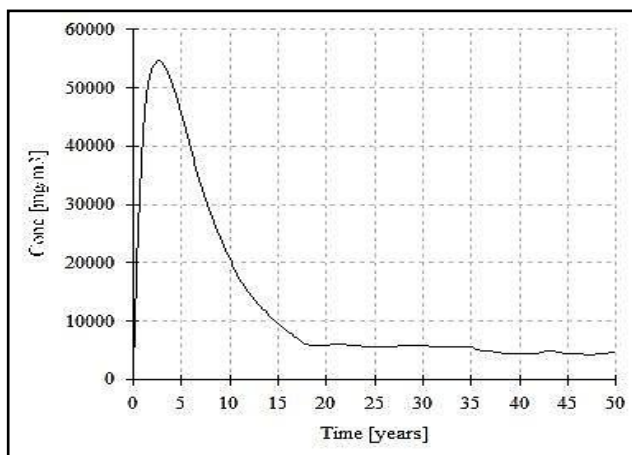
19- Variable head

20- No flux

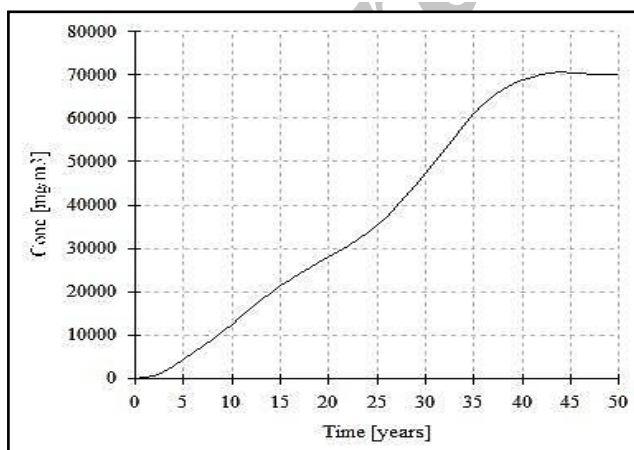
21- Observation point



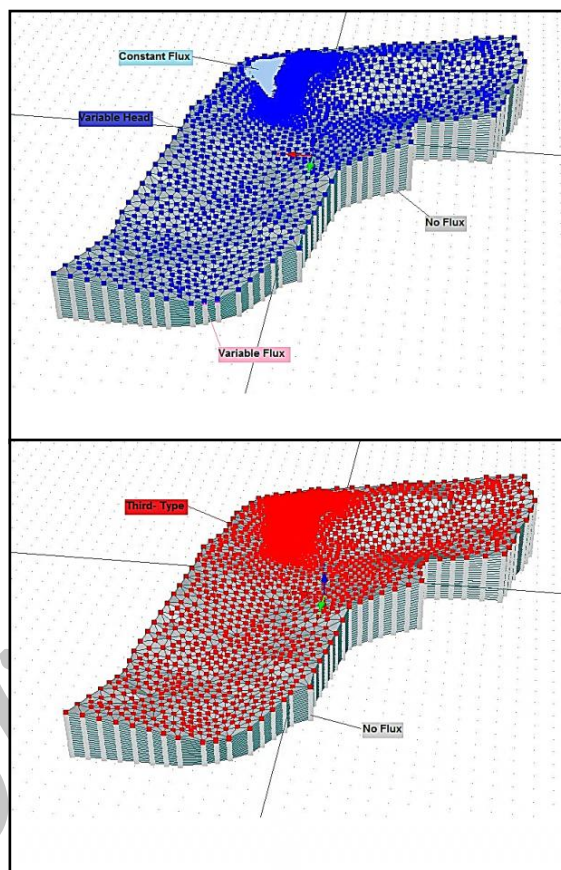
شکل ۹. تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در p1



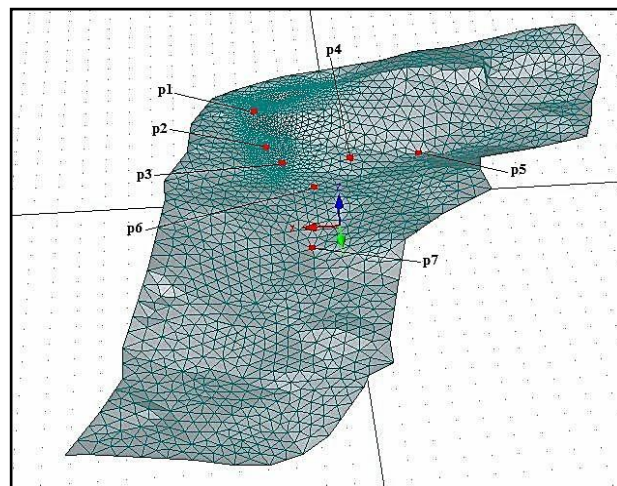
شکل ۱۰. تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در p2



شکل ۱۱. تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در p3



شکل ۷. شرایط مرزی مدل برای جریان هیدرولیکی (بالا) و انتقال آلودگی (پایین)



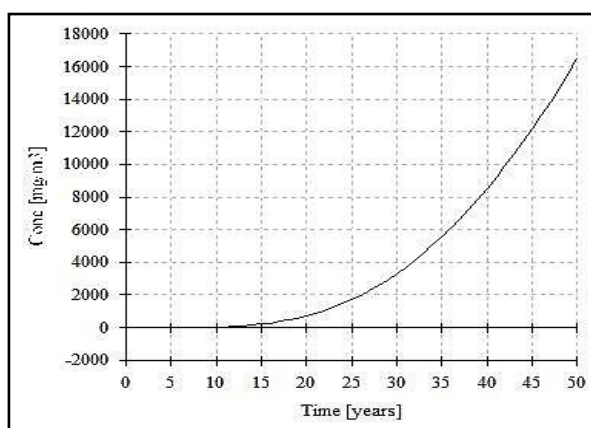
شکل ۸. نقاط مشاهده‌ای در عمق ۱۲ متری

جدول ۱۳. تفسیر منحنی غلظت نیتروژن آمونیوم در نقاط مشاهده‌ای تعبیه شده در عمق ۱۲ متری کف محل دفن زباله‌ها

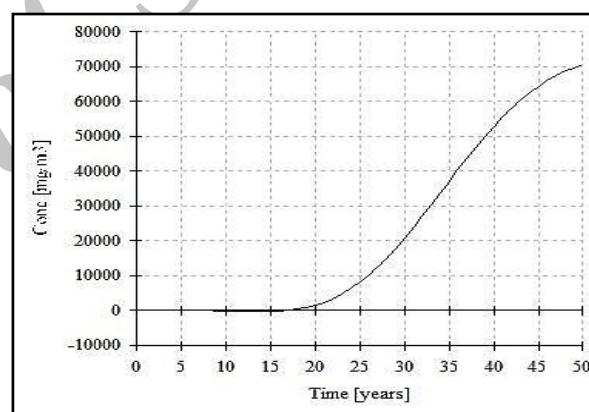
شماره	موقعیت نقطه مشاهده‌ای	توضیحات
p1	در قاعده لایه رسوبی و در زیر بلوک ۱ محل دفن زباله‌ها	پس از اشباع محیط با ماده محلول مورد نظر، از سال ۴ به بعد این روند شروع به کاهش می‌کند که در این رابطه می‌توان به پس‌دهی آرام ماده محلول به محیط به دلیل نبود عامل وادارنده انتقال آلودگی، پایین بودن هدایت هیدرولیکی محیط و همچنین مقادیر پایین ضرایب پراکندگی طولی و عرضی محیط اشاره کرد (شکل ۹).
p2	در قاعده لایه رسوبی (زیر محل دفن زباله‌ها) و در انتهای بلوک شماره ۳ محل دفن زباله‌ها	در این نقطه به دلیل قرارگیری آن در مسیر جریان آب و آلودگی و همچنین واقع شدن در موقعیت پایین‌تر و در عین حال کم شیب‌تر نسبت به نقطه p1 در شرایط مساعدتری برای نفوذ و تجمع بیشتر مواد محلول موجود در شیرابه قرار دارد. در همین مورد نیز می‌توان به دنباله این منحنی در سال‌های انتهایی دوره شبیه‌سازی و بالاتر بودن مقدار غلظت تعادلی ماده محلول نسبت به نقطه p1 اشاره کرد. این رخداد نیز به دلیل نفوذ ماده محلول از مناطق بالادست محل دفن زباله‌ها به مناطق پایین‌تر از جمله نقطه p2 و بالا بردن میزان غلظت تعادلی نیتروژن آمونیوم در محیط شود (شکل ۱۰).
p3	در فاصله ۸۰ متری شمال بلوک شماره ۳ محل دفن زباله‌ها (مناطق کم ارتفاع‌تر) و خارج از محدوده محل دفن زباله‌ها	ورود اولین پالس آلودگی با وقفه ۲ ساله و با غلظت اولیه ۴۰۴ میلی‌گرم بر مترمکعب صورت می‌گیرد. پس از این زمان، افزایش غلظت به صورت پیوسته ادامه پیدا می‌کند که این روند تا سال ۴۳ از بازه شبیه‌سازی شده ادامه دارد. پس از این مدت تا ۳ سال غلظت یکنواخت بوده و در عدد ۷۰۶۰۰ میلی‌گرم بر مترمکعب ثابت می‌شود و در ادامه با کاهش این مقدار روبرو می‌شود. بررسی این روند افزایشی و سپس کاهشی نشان می‌دهد که بیشترین غلظت نیتروژن محیط در نقطه p3 برای ۴۳ سال پس از شروع نشت از کف محل دفن زباله‌ها (البته با نرخ، غلظت و شرایطی مطابق با شرایط ثابت کنونی) مشاهده خواهد شد و این در حالی است که در بازه مورد نظر (۵۰ ساله) نمی‌توان ثابت و یکنواخت شدن غلظت نیتروژن آمونیوم را در محیط بررسی کرد زیرا این رخداد در زمانی بیشتر از ۵۰ سال اتفاق می‌افتد (شکل ۱۱).
p4	۳۱۰ متری غرب محل دفن زباله‌ها	اولین ورود ماده محلول پس از ۲ سال و با غلظت کمتر از ۲ میلی‌گرم بر متر مکعب صورت می‌گیرد که این روند تا ۲۰ سال پس از شروع نشت از محل دفن زباله‌ها ادامه دارد و پس از آن غلظت نیتروژن آمونیوم به ۱۴۰۰ میلی‌گرم بر مترمکعب افزایش می‌یابد. از این زمان به بعد و تا سال ۵۰ می‌توان همچنان روند افزایش نسبتاً سریع غلظت را مشاهده کرد که در انتهای بازه زمانی با غلظت تقریبی ۷۰۵۰۰ روبرو می‌شویم (شکل ۱۲).
p5	۳۰۰ متری نقطه p4 و تقریباً ۶۱۰ متری انتهای غربی محل دفن زباله‌ها	بررسی تغییرات غلظت به سمت غرب محدوده مورد مطالعه با استفاده از این نقطه صورت گرفت. روند افزایش غلظت در این نقطه از محدوده مورد مطالعه نیز تا سال ۵۰ ادامه داشته که در این مورد باید به غلظت کمتر این نقطه نسبت به نقطه p4 اشاره کرد (۶۷۰۰۰ میلی‌گرم بر مترمکعب) که این رخداد نیز با توجه به فاصله بیشتر آن از محل دفن زباله‌ها و عدم نفوذ پالس غلیظ کننده محیط که از نقطه p4 عبور کرده ولی هنوز موجب بالا بردن غلظت در نقطه p5 نشده است قابل توجیه است (شکل ۱۳).
p6	۳۴۰ متری شمال محل دفن زباله‌ها و در فاصله ۲۶۰ متری شمال نقطه p3	پس از ۱۰ سال از شروع نشت شیرابه به محیط شاهد نفوذ غلظت ۱۲ میلی‌گرم بر مترمکعب نیتروژن آمونیوم به محل مورد نظر می‌باشیم. این افزایش غلظت با روندی نسبتاً منظم تا ۱۶۰۰۰ میلی‌گرم بر مترمکعب در ۵۰ امین سال از شروع شبیه‌سازی ادامه می‌یابد. نرسیدن به غلظت بیشینه در این نقطه را می‌توان به قرارگیری این نقطه در منطقه‌ای مرتفع‌تر نسبت به مناطق اطراف و فاصله بیشتر نسبت به منشأ آلودگی نسبت داد (شکل ۱۴).
p7	۴۱۰ متری شمال نقطه p6	پس از ۱۰ سال از شروع نشت شیرابه به محیط، شاهد نفوذ غلظت ۴۵ میلی‌گرم بر مترمکعب نیتروژن آمونیوم به محل مورد نظر می‌باشیم. در این نقطه، افزایش غلظت با روندی نسبتاً منظم تا ۵۸۰۰۰ میلی‌گرم بر مترمکعب در ۵۰ امین سال از شروع شبیه‌سازی ادامه می‌یابد. نمایش غلظت بیشینه بیشتر نقطه p7 نسبت به p6 با وجودیکه این نقطه در فاصله دورتر نسبت به منشأ آلودگی قرار دارد را می‌توان به قرارگیری نقطه p6 در منطقه‌ای تپه مانند در کف دره و همچنین انتقال آلودگی موجود در آب زیرزمینی در مناطق غربی دره (به دور از محل قرارگیری نقطه p6) نسبت داد. علاوه بر این، نقطه p7 در نقطه‌ای پست و گود مانند واقع شده است که این نیز می‌تواند در تجمع آب و به تبع آن آلودگی همراه آن و بالا رفتن غلظت بیشینه آلودگی سهیم باشد (شکل ۱۵).

که در این عمق، پس از ۵۰ سال هیچ اثری از نفوذ آلودگی مشاهده نشد. با توجه به اینکه در محدوده مورد مطالعه هیچگونه برداشتی از آب زیرزمینی صورت نمی‌گیرد و عامل وادارنده‌ای برای افزایش سرعت جریان و انتقال آلودگی وجود ندارد و حرکت آب زیرزمینی و آلودگی موجود در آن تابعی از توپوگرافی است، تغییر سرعت زیادی را نمی‌توان برای این محدوده متصور شد. بنابراین انتظار می‌رود در مناطقی با شیب توپوگرافی بیشتر با گرادبان هیدرولیکی بالاتر، جریان هیدرولیکی و به تبع آن انتقال بیشتر مواد محلول در رسوبات سطحی مواجه باشیم. در شکل ۲۰ بردارها و مقادیر سرعت جریان آب و آلودگی را می‌توان مشاهده کرد که از ارتفاعات جنوبی به سمت خروجی محدوده مورد مطالعه (شمال منطقه) می‌باشد. بر اساس این مطالعه، سرعت جریان و انتقال آلودگی در محل دفن زباله‌ها بین ۶ تا ۸ متر بر سال و در مناطق پایین دست که شیب توپوگرافی ملایم می‌شود، این مقدار به کمتر از ۲ متر بر سال کاهش پیدا می‌کند.

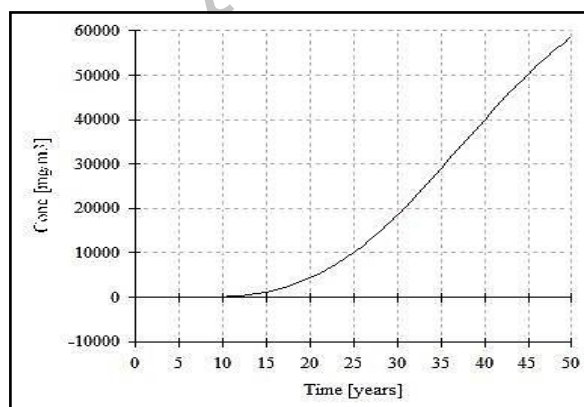
در ادامه بررسی تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در محیط، انتقال و نفوذ آن در عمق ۴۰ متری (محیط سنگ بستر) مورد توجه قرار گرفت. در این عمق از تغییرات ثبت شده ۳ نقطه مشاهده‌ای که موقعیت آنها در شکل ۱۶ نمایش داده شده است برای سنجش عمق نفوذ آلودگی استفاده شده است. همانطوریکه انتظار می‌رود، نباید شاهد نفوذ آلودگی به محیط سنگ بستر باشیم. زیرا در اینگونه ساختارها، مقادیر بسیار پایین (نزدیک به صفر) مولفه‌های هیدرولیکی محیط مانند هدایت هیدرولیکی و ضرایب پراکندگی طولی و عرضی اجازه ورود آلودگی و انتقال آنرا نمی‌دهد. در جدول ۱۴ تفسیر منحنی غلظت نیتروژن آمونیوم در نقاط مشاهده‌ای تعبیه شده در عمق ۴۰ متری کف محل دفن زباله‌ها ارائه شده است. در شکل‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ منحنی تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در نقاط p8، p9 و p10 نمایش داده شده است. سومین سطح ارتفاعی که نفوذ آلودگی در آن مورد ارزیابی قرار گرفت، عمق ۱۲۰ متری زمین در محل دفن زباله‌ها بود. بررسی تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در این عمق با استفاده از دو نقطه مشاهده‌ای p11 و p12 صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد



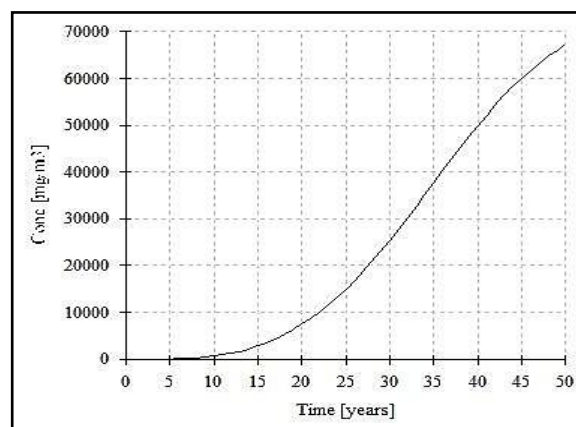
شکل ۱۴. تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در p6



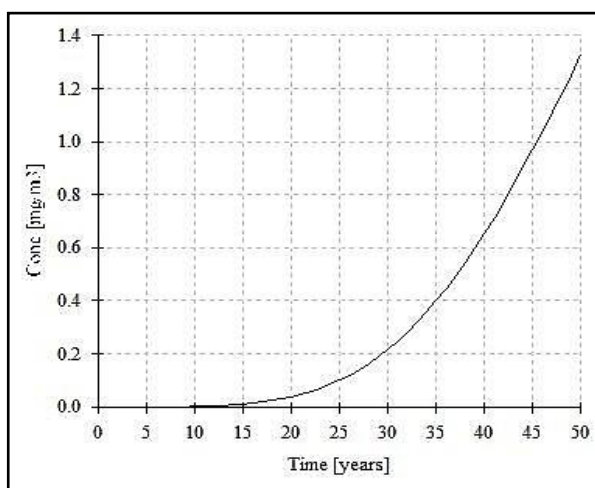
شکل ۱۲. تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در p4



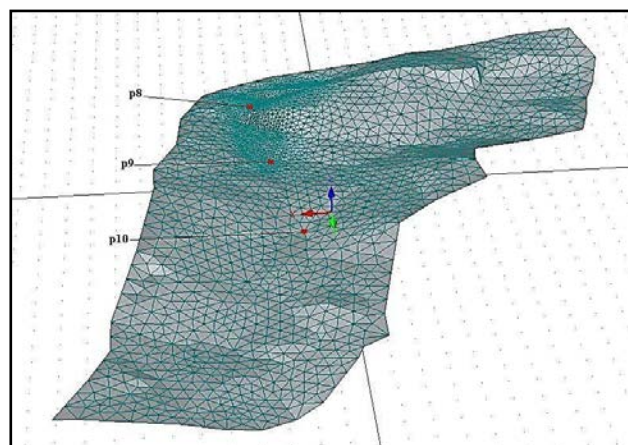
شکل ۱۵. تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در p7



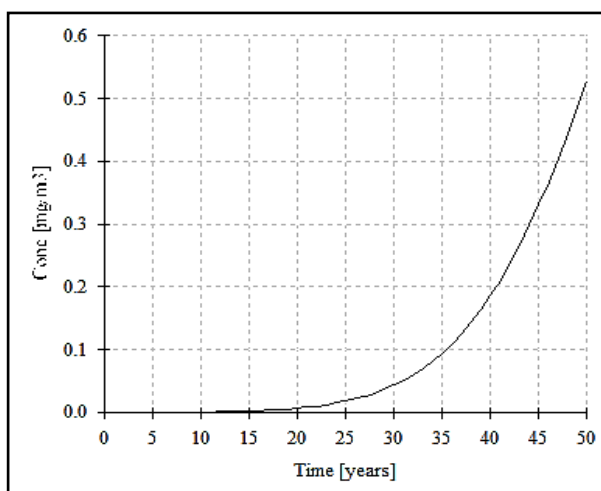
شکل ۱۳. تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در p5



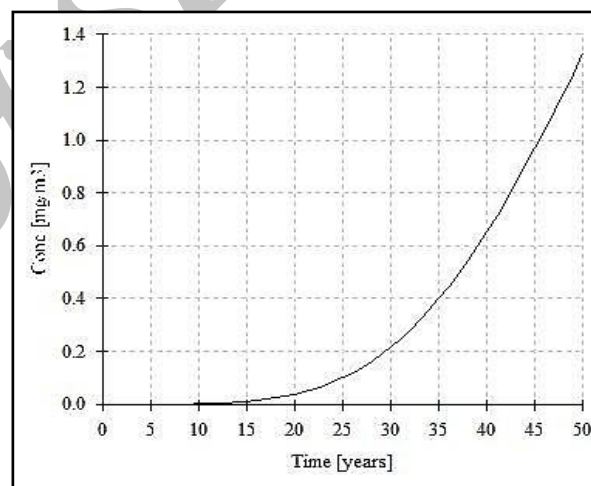
شکل ۱۸. تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در p9



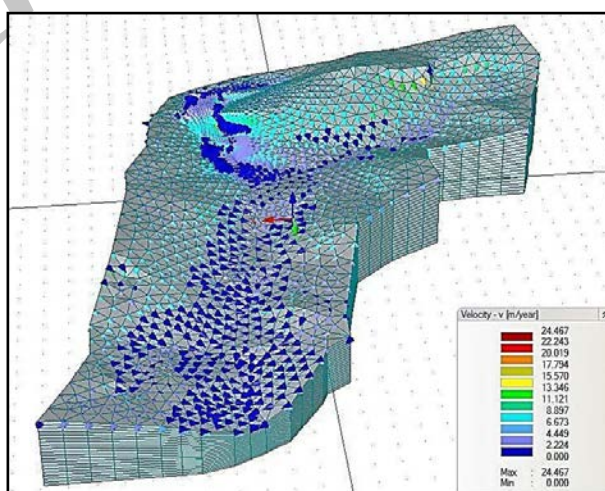
شکل ۱۶. موقعیت نقاط مشاهده‌ای در نظر گرفته شده در عمق ۴۰ متری



شکل ۱۹. تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در p10



شکل ۱۷. تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم در p8



شکل ۲۰. بردار سرعت جریان و انتقال آلودگی در محدوده مورد مطالعه

جدول ۱۴. تفسیر منحنی غلظت نیتروژن آمونیوم در نقاط مشاهده‌ای تعبیه شده در عمق ۴۰ متری کف محل دفن زباله‌ها

شماره	موقعیت نقطه مشاهده‌ای	توضیحات
p8	زیر بلوک ۱ محل دفن زباله‌ها و در عمق ۴۰ متری	اولین نفوذ آلودگی به محیط زیرسطحی پس از ۲ سال از شروع نشت از کف محل دفن زباله‌ها و به میزان ۰/۰۰۵ میلی‌گرم بر مترمکعب مشاهده می‌شود. این روند به صورت افزایش ادامه می‌یابد تا اینکه در ۵۰ امین سال از شروع شبیه‌سازی به ۰/۳۸ میلی‌گرم بر مترمکعب می‌رسد که با توجه به غلظت اولیه نیتروژن آمونیوم در شیرابه نشتی (۷۶۲۵۰ میلی‌گرم بر مترمکعب) این مقدار بسیار ناچیز بوده و قابل چشم‌پوشی است (شکل ۱۷).
p9	در پایین دست محل دفن زباله‌ها و در عمق ۴۰ متری	نفوذ آلودگی به میزان بسیار ناچیزی صورت گرفته است که در این مورد نیز نفوذ اولین پالس آلودگی با غلظت ۰/۰۰۴ و در ۱۲ سال پس از شروع نشت شیرابه مشاهده می‌شود (شکل ۱۸).
p10	نسبت به p9 در فاصله دورتری از منشأ آلودگی	با توجه به منحنی تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم می‌توان انتظار داشت که پالس آلودگی با زمان بیشتر و غلظت کمتری نسبت به p9 به محیط نفوذ کند (شکل ۱۹).

نتایج

کمتر از ۲ متر بر سال کاهش پیدا می‌کند. ۹- نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که در صورت در اختیار بودن داده‌های کافی در مورد موضوع مطرح شده، نرم‌افزارهای Visual HELP و HYDRUS 3D به خوبی می‌توانند در تحلیل شرایط هیدرولوژیکی و انتقال آلودگی در محیط غیراشباع و اشباع محل‌های دفن زباله مورد استفاده قرار گیرند.

پیشنهادات

با توجه به اینکه در منطقه مورد نظر، پژوهش حاضر به عنوان نخستین مطالعه در این زمینه قلمداد می‌شود و در انجام ایده‌آل این مطالعه نیز محدودیت‌های فراوانی وجود داشت، پیشنهادات ذیل به منظور بهینه‌سازی مطالعه حاضر و مطالعات بعدی ارائه می‌شوند: ۱- حفر گمانه‌های ژئوتکنیکی با عمق مناسب در اطراف منطقه (محدوده‌ای که نفوذ و انتقال آلودگی در آن صورت می‌گیرد) به منظور تهیه پروفیل ساختار زیرسطحی در جهات مختلف. ۲- تعیین ضخامت و بررسی جامع تشکیلات موجود در منطقه با بهره‌گیری از مطالعات ژئوالکتیکی و تلفیق نتایج حاصل از آن با نتایج بدست آمده از گمانه‌های ژئوتکنیکی و بررسی‌های زمین‌شناسی در جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی با قدرت تفکیک بالا از این منطقه. ۳- بررسی خصوصیات مهندسی نمونه‌ها و مغزه‌های تهیه شده از گمانه‌های ژئوتکنیکی در تعیین دقیق پارامترهای مؤثر در جریان و انتقال آلودگی و بکارگیری این اطلاعات در مدلسازی دقیق‌تر منطقه. ۴- مونیتورینگ دقیق و مداوم سطح آب در منطقه به منظور تهیه خطوط ایزوپتانسیل سطح آب. ۵- تعیین و اعمال میزان جذب آب توسط ریشه گیاهان و درختان ۲۲ در مدلسازی‌ها و بررسی‌های آینده.

با توجه هدف مطالعه، موارد ذیل را می‌توان به عنوان نتیجه این پژوهش ذکر کرد: ۱- میانگین نرخ نشت از کف محل دفن زباله‌های شهر رشت برای بازه ۱۵ ساله برابر ۰/۶۸، بازه ۵۰ ساله برابر ۰/۷۰ و میانگین نرخ نشت با توجه به بازه ۱۵ و ۵۰ ساله برابر با ۰/۶۹ متر بر سال تعیین شد. ۲- بر اساس بازدهی‌های صحرائی، مطالعات رسوب‌شناسی (دانه‌بندی) و ژئوالکتیکی در محدوده مورد مطالعه، مشخص شد که جنس غالب محیط رسوبی سطحی از نوع ماسه رسی سیلتی می‌باشد. ۳- در عمق ۱۲ متری که حد فاصل بین لایه رسوبی سطحی و سنگ کف منطقه است، با نفوذ آلودگی البته با غلظت‌های مختلف روبرو هستیم. ۴- نفوذ آلودگی به سمت غرب منطقه را می‌توان پس از گذشت ۲ سال از شروع نشت شیرابه و با غلظت‌های کمتر از ۲ و کمتر از ۱ میلی‌گرم بر مترمکعب مشاهده کرد. ۵- حرکت آلودگی به سمت خروجی محدوده مورد مطالعه (شمال منطقه) با استفاده از بررسی تغییرات غلظت نیتروژن آمونیوم وارد شده به دو نقطه p6 و p7 صورت گرفت و نتایج نشان می‌دهد که سرعت و غلظت انتقال آلودگی در این جهت بیشتر از جهات دیگر می‌باشد زیرا مسیر جریان آب و شیب توپوگرافی به سمت شمال منطقه می‌باشد. ۶- نتایج نشان می‌دهد که پایین تر از عمقی معادل ضخامت رسوبات سطحی نمی‌توان نفوذ آلودگی را مشاهده کرد بنابراین انتقال آلودگی تنها در رسوبات سطحی صورت می‌گیرد. ۷- روند تغییرات سرعت جریان آب و آلودگی که بدون هیچگونه عامل وادارنده‌ای و در یک محیط ماسه‌ای که دارای مقدار قابل توجهی رس و سیلت نیز می‌باشد، از حرکت آب و آلودگی تنها به دلیل توپوگرافی منطقه حکایت دارد. ۸- سرعت جریان و انتقال آلودگی در محل دفن زباله‌ها بین ۶ تا ۸ متر بر سال و در مناطق پایین دست که شیب توپوگرافی ملایم می‌شود، این مقدار به

مسیرانتقال هاله آلودگی. ۹- تعیین فرآیندهای واکنشی بین مواد تشکیل دهنده محیط و گونه‌های شیمیایی تولید شده از محل دفن زباله‌ها به منظور اعمال پارامتر کنش و واکنش به مدل‌های آینده. ۱۰- اجرای مدل‌های مختلف، کالیبره کردن این مدل‌ها با استفاده از داده‌های برداشتی و مقایسه نتایج حاصل از این مدل‌ها به منظور معرفی مدل بهینه و بکارگیری این مدل یا مدل‌ها در انجام بررسی‌ها و پیش‌بینی‌های دقیق انتقال آلودگی در سطح منطقه.

۶- برداشت و تجزیه و تحلیل مداوم نمونه‌های تهیه شده از منابع آبی موجود در منطقه به منظور تعیین روند تغییر کیفیت آب و استفاده از این اطلاعات در کالیبره کردن مدل‌های تهیه شده از این محدوده. ۷- نمونه‌برداری از تنه درختان مسن در فواصل مختلف از محل دفن زباله‌ها و تجزیه و تحلیل مواد موجود در آن به عنوان روشی برای بررسی نفوذ آلودگی به محل قرارگیری درختان نمونه‌برداری شده. ۸- استفاده از روش‌های ژئوالکتریکی در ردیابی

منابع

- زارع‌ابیان، ح.، بیات‌ورکشی، م.، سبزی‌پور، ع.، معروفی، ص. و قاسمی، ع. ۱۳۸۹، ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، زمستان ۱۳۸۹، صص. ۹۵-۱۱۰.
- مهندسین مشاور کنکاش عمران، ۱۳۸۸، "گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبریز رودخانه‌های سفیدرود بزرگ و تالش- تالاب انزلی". جلد دوم، بررسی‌ها و مشخصات عمومی. شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گیلان
- راهنمای نرم‌افزار Visual HELP 2.2
- راهنمای نرم‌افزار HYDRUS 3D 1.06
- E. Bou-Zeid, M. El-Fadel., 2004, Parametric sensitivity analysis of leachate transport simulation at landfills. Journal of Waste Management, no. 24, 681-689
- E. Rouholahnejad, S. A. Sadrnejad, 2009, Numerical Simulation of Leachate Transport into the Groundwater at Landfill Sites. 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia
- Kruempelbeck, I., Ehrig, H.J., 1999, Long-term behavior of municipal solid waste landfills in Germany. In: Christensen, T.H., Cossu, R., Stegman, R. (Eds.), Sardinia 99: Seventh Waste Management and Landfill Symposium, vol. I, 4-8 October, Cagliari, Sardinia, Italy. CISA Environmental Sanitary Engineering Center, Cagliari.
- Md. Tauhid-Ur-Rahman, 2009, An investigation of the contaminant transport from the disposal site, using FEMLAB. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation. vol.4 , no. 2:79-88
- Rojas, David, Jr. S., 2004, A study of the potential groundwater contamination from the leachate of the Payatas Dumpsite in Metro Manila, Philippines . Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) Program.
- Sykes, J.F., S.B. Pahwa, D.S. Ward and R.B. Lantz., 1983, The validation of SWENT, a geosphere transport model, in Scientific Computing, edited by R. Stapleman et al., pp. 351-361, IMAES/North-Holland, Amsterdam
- WWW.GWGN.ORG
- WWW.NGDIR.COM
- WWW.GILMET.IR