

ارزیابی پارامترهای موثر بر انتقال آلودگی از مدفن های زباله به سفره های آب زیرزمینی

کاظم بدو^۱ و فرشید سعدآبادی^۲

^۱ دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه ارومیه، صندوق پستی ۱۶۵، Email: k.badv@urmia.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی خاک و پی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه ارومیه

چکیده:

با انجام آزمایشات انتقال آلودگی، ضریب دیفیوژن یون کلر در خاک ماسه سیلتی رودخانه شهرچای ارومیه و خاک رسی منطقه مدفن زباله شهرستان ارومیه تعیین گردید. پارامترهای موثر در میزان انتقال آلودگی از مدفن زباله به سفره آب زیرزمینی مورد شناسایی قرار گرفت. سه گزینه مدفن زباله جهت محاسبات انتقال آلودگی انتخاب شده و تاثیر تعدادی از پارامترهای انتقال با استفاده از کد رایانه ای MIGRATE مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده با افزایش ارتفاع لایه خاک طبیعی میزان آلودگی در سفره آب زیرزمینی به تاخیر می افتد، لیکن مقدار غلظت ماکزیمم در سفره آب زیرزمینی به ارتفاع لایه خاک طبیعی بستگی ندارد. همچنین با افزایش ضخامت سفره آب زیرزمینی و سرعت جریان آب در این سفره مقدار غلظت یون کلر در این لایه کاهش می یابد. بر اساس یافته های این مطالعه، یک مدفن زباله نیمه مهندسی را که دارای یک لایه زهکش شیرابه و یک لاینر رسی است، می توان بعنوان یک استاندارد حداقل به حرفه مهندسی و دست اندرکاران امر مدیریت پسماندهای شهری در کشور معرفی نمود.

کلید واژه ها: دیفیوژن، انتقال آلودگی، مدفن زباله، سفره آب زیرزمینی، لاینر رسی، زهکش شیرابه

۱- مقدمه

وقتی مقداری زباله مرطوب روی هم انباشته شوند بعد از مدتی مایعی لزج از آن خارج می شود که شامل عناصر شیمیایی متعدد و عموماً خطرناکی است که "شیرابه" نامیده می شود [۱، ۲]. شیرابه در داخل مدفن (لندفیل)، از میان زباله ها سرازیر شده و در کف مدفن روی هم انباشته شده و حجم عظیمی از این مایع بسیار خطرناک در تماس با خاک بستر مدفن قرار می گیرد. شیرابه جمع شده تحت اثر مکانیزمهای مختلف شروع به نفوذ و حرکت در میان لایه های خاک زیرین کرده و پس از طی مسیری به سفره آب زیرزمینی تحتانی وارد می شود. افزایش غلظت این مواد در آب زیرزمینی ممکن است به حدی برسد که از استانداردهای موجود تجاوز کرده و آب زیرزمینی عملاً آلوده شود. در لندفیلها برای جلوگیری از این موضوع اقدام به ساخت لایه های مهندسی مختلف برای مدیریت شیرابه می کنند. برای این کار ابتدا باید اطلاعات مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زباله و شیرابه، خواص مکانیکی و هیدرودینامیکی لایه های طبیعی و مهندسی زیر لندفیل، و مشخصات هیدروژئولوژیک منطقه را جمع آوری کرد. سپس با انجام یک سری آزمایشات و محاسبات روی پارامترهای موثر روند کلی انتقال آلودگی را به دست آورده، طرح نهایی لندفیل را ارایه کرد [۳]. متأسفانه در ایران طراحی و ساخت لندفیلهای مهندسی-بهداشتی جایگاه قانونی خود را پیدا نکرده و هنوز زباله های شهری یا به صورت روباز روی زمین طبیعی رها شده و یا به صورت غیر بهداشتی دفن می گردند [۴، ۵]. در این مطالعه ابتدا پارامترهای موثر بر انتقال آلودگی از یک لندفیل به سفره آب زیرزمینی شناسایی شده و سپس با انجام آزمایش های دیفیوژن، ضریب دیفیوژن یون کلر در دو نوع خاک موجود در منطقه تعیین گردید. در ادامه آنالیزهای

حساسیت روی پارامترهای کلیدی انتقال آلودگی در قالب سه گزینه برای طرح مدفن زباله انجام شده و گزینه بهینه معرفی گردید.

۲ - مواد و روشها

برای اینکه نتایج به دست آمده از تحقیق به واقعیت نزدیکتر بوده و استفاده از مقادیر غیر واقعی نتایج غیرقابل اطمینانی به دست ندهد، از خاکهای واقعی موجود در منطقه استفاده شده و با انجام آزمایشات مختلف مقادیر واقعی پارامترهای مکانیکی و ضریب دیفیوژن برای این خاکها به دست آمد.

۲-۱ خاکهای مورد استفاده

برای انجام این تحقیق از دو نوع خاک استفاده شد. یک نوع خاک ماسه سیلتي متعلق به حاشیه رودخانه شهرچای ارومیه به عنوان خاک طبیعی بستر لندفیل و یک نوع خاک سیلت رسی متعلق به منطقه مدفن زباله ارومیه واقع در منطقه نازلوی ارومیه به عنوان خاک مورد استفاده در لاینر لندفیل انتخاب شدند. خصوصیات مکانیکی این خاکها در جدول (۱) نشان داده شده است.

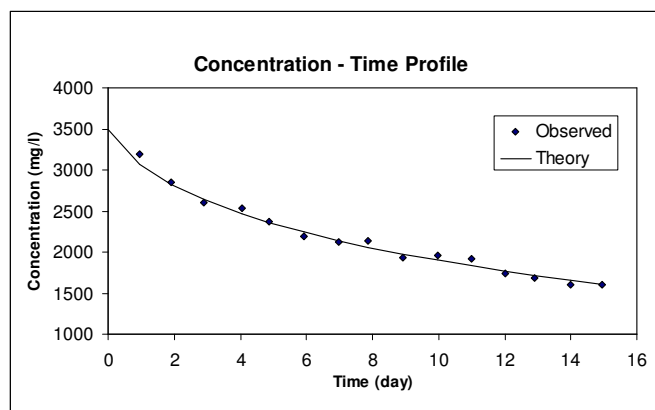
جدول ۱ : خصوصیات مکانیکی خاکهای مورد استفاده

خاک ماسه سیلتي		خاک سیلت رسی	
SM	نوع خاک	CL	نوع خاک
۶/۲۲	ضریب یکنواختی (Cu)	۲۲	حد روانی (%)
		۸	حد خمیری (%)
۲/۵۷	ضریب انحناء (Cc)	۱۴	نشانه خمیری (%)
		۲/۷۳	چگالی ویژه
۲/۶۸	چگالی ویژه	۱۲/۹	درجه رطوبت بهینه (%)
-	-	۱/۹۶	دانسیتة خشک ماکزیمم ($\frac{gr}{cm^3}$)

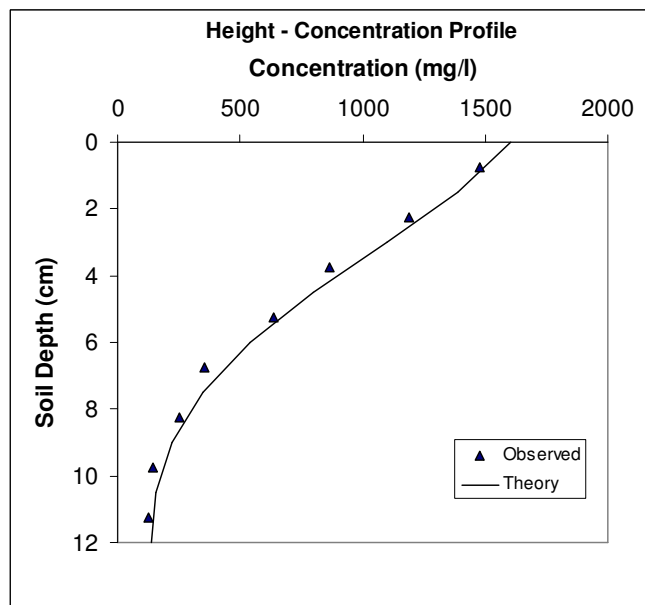
۲-۲ آزمایشهای دیفیوژن روی خاکهای مورد نظر

از آنجایی که پارامتر ضریب دیفیوژن نقش مهمی در انتقال آلودگی از میان خاکها دارد، یک سری آزمایش برای تعیین ضریب دیفیوژن خاکهای مورد استفاده انجام شد. آزمایشات یک بعدی با استفاده از یک لوله پلی اتیلن که کف آن با یک صفحه شیشه ای مسدود است انجام گردید. نمونه های خاک در داخل لوله با دو درصد بیش از رطوبت بهینه متراکم شده سپس محلول کلرور سدیم با غلظت معین روی نمونه های خاک (بعنوان منبع آلودگی) ریخته شده و آزمایش دیفیوژن آغاز گردید. پس از شروع آزمایش در فواصل زمانی مشخص برای تعیین تغییرات غلظت منبع آلودگی نسبت به زمان نمونه برداری شد و بعد از هر نمونه برداری برای ثابت ماندن سطح محلول، معادل حجمی آن آب مقطر اضافه

گردید. پس از طی زمان مشخص (حدود ۱۵ روز) محلول کلرور سدیم از بالای نمونه ها تخلیه شده، نمونه ها به صورت لایه های افقی هم ضخامت (حدود ۱/۵ سانتیمتر) بریده شدند. درجه رطوبت، درجه اشباع و سپس درجه رطوبت حجمی نمونه های خاک محاسبه شدند. نمونه ها درجه اشباعی در بازه ۹۷ الی ۱۰۰ درصد داشتند. نمونه محلولهای به دست آمده از لایه های خاک جهت تعیین غلظت یون کلر نسبت به ارتفاع خاک توسط دستگاه یون متر (مجهز به الکتروود یون کلر) آنالیز شدند. نتایج مشاهده ای غلظت-زمان و غلظت-ارتفاع خاک، توسط نرم افزار POLLUTE پیش بینی شده و نهایتاً ضریب دیفیوژن یون کلر در خاک آزمایش شده با برازش بهترین منحنی های تئوریک (نتایج نرم افزار) روی نقاط مشاهده ای، بدست آمد [۶]. در شکل (۱) یک نمونه از نتایج آزمایش روی خاک ماسه سیلتی نشان داده شده است [۷]. در این آزمایش ضریب دیفیوژن (m^2/s) $5/1 \times 10^{-10}$ برای یون کلر در خاک آزمایش شده بدست آمد که در آنالیز های انجام شده مورد استفاده قرار گرفت.



(الف)

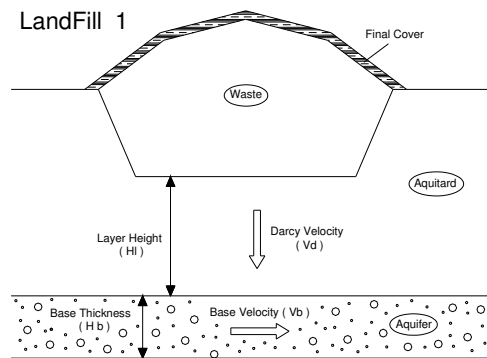


(ب)

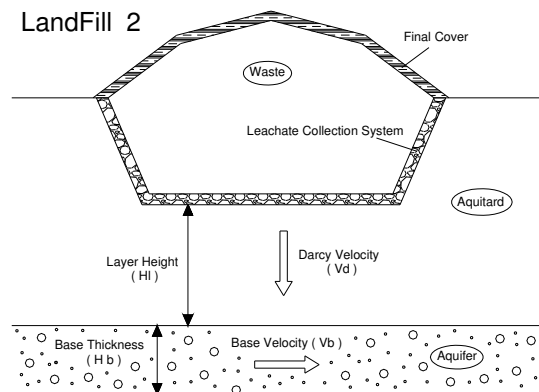
شکل ۱ : تغییرات مشاهده ای و تئوریک غلظت یون کلر (الف) نسبت به زمان و (ب) نسبت به ارتفاع خاک در نمونه خاک رس سیلتی

۳ - گزینه های مختلف طرح لندفیل

اشکال شماتیک سه گزینه مختلف طرح لندفیل در شکل های (۲) الی (۴) نشان داده شده اند. گزینه اول طرح لندفیل در شکل (۲) مشاهده میشود. این یک لندفیل غیر مهندسی بوده و اغلب لندفیلهای موجود در کشور از این نوع است. گزینه های دوم و سوم طرح لندفیل به ترتیب در اشکال (۳) و (۴) نشان داده شده و جزو لندفیل های نیمه مهندسی محسوب میشوند و تحت شرایط خاص می توانند بعنوان طرح مدفن انتخاب شوند.



شکل ۲: شکل شماتیک گزینه اول طرح مدفن (بدون المان مهندسی)

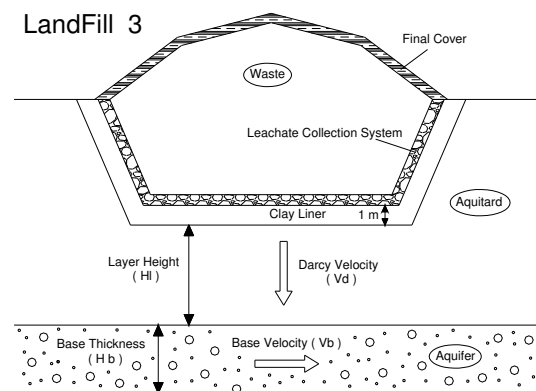


شکل ۳: شکل شماتیک گزینه دوم طرح مدفن (با یک المان مهندسی زهکش شیرابه)

۳-۱ گزینه اول: لندفیل غیر مهندسی

مطابق شکل (۲) گزینه اول طرح مدفن، یک لندفیل سنتی است که به غیر از یک لایه پوشش نهایی که در انتهای کار روی زباله های انباشته شده ساخته می شود، هیچ گونه لایه مهندسی اعم از لاینر (لایه رسی کوبیده شده) یا لایه زهکش در آن وجود ندارد. در نتیجه شیرابه حاصل از زباله ها در تماس مستقیم با لایه خاک طبیعی (Aquitard) میباشد. ارتفاع این لایه (Hl) متغیر است و بر اساس شرایط موجود در دشت ارومیه در تحلیل هایی که در آن ها Hl

یک پارامتر متغیر است، از ۱ تا ۲۰ متر و در دیگر تحلیل‌ها ۱۰ متر فرض شده است. در زیر این لایه یک سفره آبدار آزاد وجود دارد که ضخامت این لایه (H_b) و سرعت داری افقی موجود در آن (V_b) نیز متغیر می‌باشند.



شکل ۴: شکل شماتیک گزینه سوم طرح مدفن (با دو المان مهندسی زهکش شیرابه و لاینر رسی)

۲-۳ گزینه دوم: لندفیل با یک لایه زهکش شیرابه

این نوع لندفیل که شمای آن در شکل (۳) قابل مشاهده است همانند لندفیل نوع یک است با این تفاوت که یک لایه زهکش سفره ای مابین زباله‌ها و خاک طبیعی بستر قرار می‌گیرد و قسمتی از شیرابه تولید شده در لندفیل توسط این لایه از کف مدفن خارج شده و تحت مدیریت قرار می‌گیرد. میزان زهکشی این لایه ۰/۲ متر در سال در محاسبات فرض شده است.

۳-۳ گزینه سوم: لندفیل با یک لایه زهکش شیرابه و یک لاینر رسی

این نوع لندفیل که شمای آن در شکل (۴) قابل مشاهده است علاوه بر یک لایه زهکش سفره ای، دارای یک لایه رسی کوبیده شده به ضخامت ۱ متر به عنوان لایه مانع حرکت شیرابه (لاینر) است که میان لایه زهکش و خاک طبیعی تعبیه شده است. بقیه مشخصات این نوع لندفیل همانند لندفیل‌های قبلی است.

۴- پارامترهای موثر در انتقال آلودگی

پارامترهای موثر در میزان انتقال آلودگی زیاد بوده و بررسی همه آنها در یک مطالعه میسر نیست. در این میان تعدادی از این پارامترها در میزان انتقال نقش تعیین کننده ای دارند. این پارامترها را می‌توان در سه بخش زیر دسته بندی کرد:

۱-۴ پارامترهای مربوط به لندفیل

پارامترهای مربوط به لندفیل عبارتند از نوع لندفیل، ابعاد لندفیل (طول و عرض)، میزان بارندگی و نفوذ آب به داخل لندفیل، ارتفاع، جرم حجمی و نوع زباله‌ها، ارتفاع شیرابه، میزان زهکشی شیرابه و غلظت اولیه شیرابه. طبق مطالعات انجام شده ابعاد افقی (طول و عرض) لندفیل اگر به صورت منطقی فرض شوند در میزان انتقال آلودگی نقشی ندارد و یک پارامتر غیر موثر تلقی می‌شوند. میزان بارندگی و نفوذ آب به لندفیل به طور مستقیم در میزان انتقال آلودگی موثر نبوده ولی در تعدادی از پارامترهای دیگر موثر واقع می‌شود از جمله ارتفاع و غلظت شیرابه، سرعت

دارسی رو به پایین و رطوبت حجمی در لایه های خاک زیرین و غلظت اولیه شیرابه. ارتفاع، جرم حجمی و نوع زباله به طور مستقیم در ارتفاع و غلظت شیرابه و همچنین ارتفاع لندفیل موثر است. طبق مطالعات انجام گرفته میزان زهکشی شیرابه به طور محسوسی در انتقال آلودگی موثر بوده و با افزایش میزان زهکشی شیرابه، حجم ماده آلوده کننده وارد شده به لایه های زیرین کاهش می یابد. در نتیجه غلظت ماده آلوده کننده هم در لایه خاک زیرین و هم در لایه آبدار در زمانهای معادل به طور چشم گیری کاهش می یابد [۴].

۲-۴ پارامترهای مربوط به لایه های خاک مابین لندفیل و سفره آب زیرزمینی

در این بخش مهمترین پارامترهای موثر شامل مشخصات مکانیکی خاکهای طبیعی موجود می باشد. این پارامترها عبارتند از: نوع خاک، تخلخل، دانسیته خشک، درجه رطوبت حجمی، ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی، سرعت دارسی موجود در لایه خاک و ارتفاع لایه ها. همچنین پارامترهای ضریب دیفیوژن، ضریب توزیعی و غلظت پیشینه یون در خاک نیز از عوامل موثر در این بخش می باشند. نوع خاک در انتقال آلودگی بسیار موثر می باشد به طوری که در خاکهای درشت دانه چون ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی خاک بالا بوده و شدت جریان آب از میان آنها بالا می باشد، پدیده غالب در انتقال آلودگی پدیده ادوکشن است. ولی در خاکهای ریزدانه به دلیل پایین بودن ضریب نفوذپذیری، شدت جریان پایین بوده و پدیده غالب دیفیوژن می باشد. طبق مطالعات انجام شده تخلخل خاک با میزان انتقال آلودگی در زمان معین رابطه مستقیم دارد. یعنی هر چه تخلخل لایه های خاک بیشتر باشد، ماده آلوده کننده با شدت بیشتری در آن جریان می یابد. دانسیته خشک خاک یک پارامتر بی اثر بر انتقال آلودگی است و نقش محسوسی در آن ندارد. درجه رطوبت حجمی یک پارامتر موثر با تاثیر مستقیم بر انتقال آلودگی است. طبق مطالعات انجام گرفته هر چه درجه رطوبت خاک افزایش یابد، میزان انتقال آلودگی در آن افزایش می یابد و این ناشی از دو دلیل است: یکی این که با افزایش درجه رطوبت، ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی خاک افزایش می یابد و دیگری این که یونهای محلول در آب در درجه رطوبت بالاتر دارای ضریب دیفیوژن بالاتری هستند [۸، ۹]. ضریب نفوذپذیری خاک با میزان انتقال آلودگی نسبت مستقیم دارد به طوری که با افزایش آن، سرعت دارسی آب در میان لایه خاک افزایش یافته و انتقال یون آلوده کننده با مکانیزم ادوکشن افزایش می یابد. سرعت دارسی رو به پایین (و در بعضی موارد رو به بالا) یک عامل پیچیده در انتقال آلودگی است و رفتار نسبتا پیچیده ای دارد. ارتفاع لایه خاک نیز از پارامترهایی است که در زمانهای مختلف تاثیرهای متفاوتی از خود به جای می گذارد که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

ضریب دیفیوژن یون در خاک یک پارامتر موثر در انتقال آلودگی به ویژه در خاکهای ریزدانه می باشد ولی طبق مطالعات انجام شده مشخص شده است که این پارامتر در مقایسه با پدیده ادوکشن تاثیر کمتری در میزان انتقال آلودگی دارد، به ویژه اگر پدیده ادوکشن نسبت به دیفیوژن غالب باشد. ضریب توزیعی در یونهای خنثی مانند یون کلر ناچیز فرض میشود لیکن در سایر یون ها تاثیر دارد. غلظت پیشینه (Background) یون در خاک اگر بالا باشد باید در محاسبات انتقال در نظر گرفته شود.

۳-۴ پارامترهای مربوط به سفره آب زیرزمینی

پارامترهای مربوط به سفره آب زیرزمینی عبارتند از ضخامت سفره، تخلخل، ضریب هدایت هیدرولیکی، دانسیته خشک خاک، درجه رطوبت حجمی، گرادیان هیدرولیکی و سرعت جریان آب در سفره. دانسیته خشک مواد سفره در میزان انتقال آلودگی به داخل لایه تاثیری ندارد. با افزایش درجه تخلخل سفره، در زمانهای مساوی غلظت یون مورد نظر در سفره کاهش می یابد و این رفتار کاملا با رفتار تخلخل در خاک طبیعی متفاوت است چرا که در لایه خاک طبیعی با افزایش درجه تخلخل، غلظت یون مورد مطالعه در لایه آبدار برای زمانهای مساوی افزایش می یابد. چون لایه های آبدار

معمولا اشباع یا نزدیک به اشباع می باشند، تغییرات درجه رطوبت در آنها چندان مطرح نبوده و برای حالات اشباع درجه رطوبت حجمی برابر با درجه تخلخل خاک می باشد. ضخامت سفره، ضریب هدایت هیدرولیکی، گرادیان هیدرولیکی و سرعت جریان در مجموع دبی جریان در لایه را تعیین می کنند که با افزایش دبی غلظت ماده آلوده کننده در زمانهای معادل کاهش می یابد.

در ادامه این مطالعه چهار پارامتر از پارامترهای ذکر شده در بالا انتخاب و تاثیر آنها در میزان انتقال آلودگی توسط نرم افزار MIGRATE مورد بررسی قرار گرفتند [۱۰]. پارامترهای انتخابی عبارتند از نوع لندفیل (گزینه های اول، دوم، و یا سوم)، ارتفاع لایه خاک طبیعی (HI)، ضخامت سفره آب زیرزمینی (Hb)، و سرعت جریان آب در سفره (Vb).

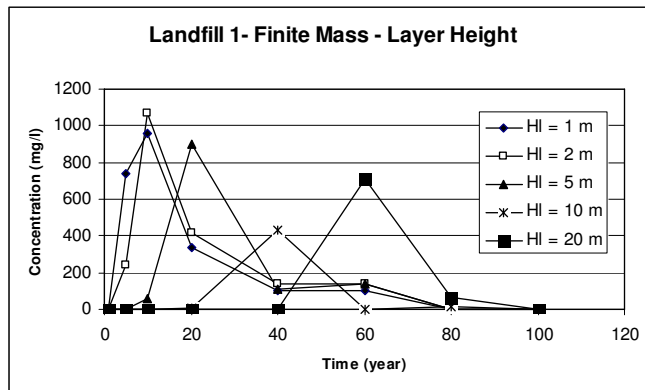
۵ - محاسبات انجام شده توسط نرم افزار MIGRATE

با توجه به داده های به دست آمده از آزمایشات و دیگر داده های فرضی یک سری تحلیل روی سه گزینه طرح مدفن انجام شد. داده های استفاده شده در این محاسبات در جدول ۲ آمده است.

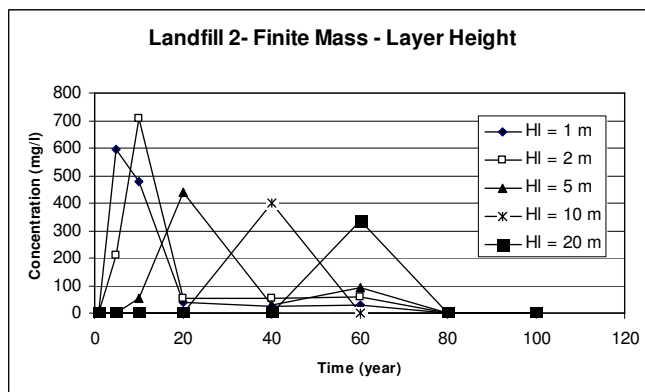
جدول ۲: داده های استفاده شده در محاسبات انتقال آلودگی

مقادیر	پارامترها
۱ - ۲ - ۵ - ۱۰ - ۲۰	ضخامت لایه خاک طبیعی (Aquitard) (m)
۱	ضخامت لاینر (Liner) (m)
۱ - ۵ - ۱۰ - ۲۰ - ۴۰	ضخامت سفره آب زیرزمینی (Aquifer) (m)
۱۰/۵	ضریب دیفیوژن لایه خاک طبیعی (ماسه سیلتی) $(\times 10^{-10} m^2/s)$
۵/۱	ضریب دیفیوژن لاینر (خاک رسی) $(\times 10^{-10} m^2/s)$
۰/۳۵	تخلخل لایه خاک طبیعی
۰/۳	تخلخل لاینر رسی
۰/۵	تخلخل سفره آب زیرزمینی
۱/۷۳	دانسیته خشک لایه خاک طبیعی (qr/cm^3)
۱/۸۹	دانسیته خشک لاینر (qr/cm^3)
۵۰۰۰	غلظت اولیه یون کلر در کف مدفن (mg/l)
۰/۱۵	سرعت دارسی رو به پایین (m/yr)
۱ - ۵ - ۱۰ - ۲۰ - ۵۰ - ۱۰۰	سرعت جریان افقی آب در سفره آب زیرزمینی (m/yr)
۰ - ۰/۲	میزان زهکشی شیرابه در لایه زهکش (m/a)
۱۲۰	عرض لندفیل (m)

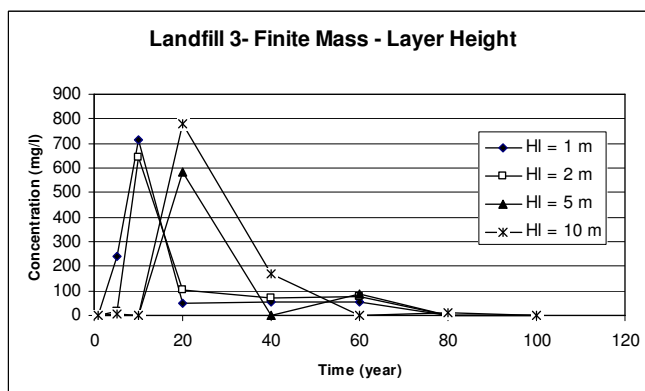
داده های مورد نظر توسط نرم افزار MIGRATE تحلیل شده و نتایج به دست آمده به صورت نمودار در اشکال ۵ تا ۱۳ نشان داده شده است. شایان ذکر است که در همه نمودارها تغییرات غلظت یون کلر نسبت به زمان در لایه آبدار (مرز پایین لایه خاک طبیعی) رسم شده است. و در هر نمودار رفتار یک متغیر در طول زمان بررسی شده است.



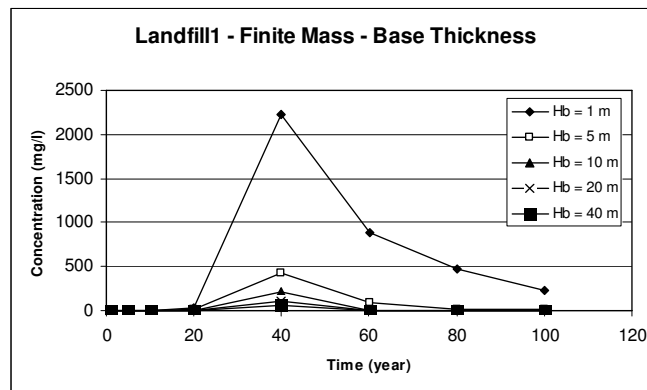
شکل ۵: تغییرات غلظت نسبت به زمان در سفره آب زیرزمینی- تاثیر ارتفاع لایه خاک طبیعی بر میزان انتقال آلودگی- گزینه اول طرح مدفن در حالت جرم محدود در کف لندفیل



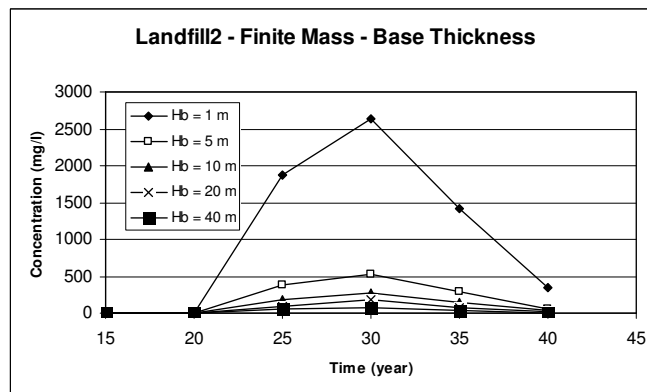
شکل ۶: تغییرات غلظت نسبت به زمان در سفره آب زیرزمینی- تاثیر ارتفاع لایه خاک طبیعی بر میزان انتقال آلودگی- گزینه دوم طرح مدفن در حالت جرم محدود در کف لندفیل



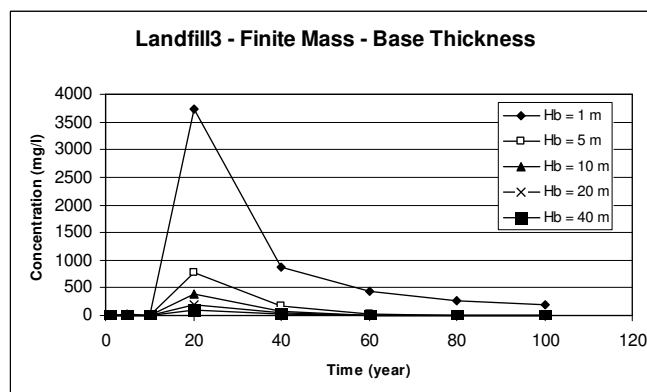
شکل ۷: تغییرات غلظت نسبت به زمان در سفره آب زیرزمینی- تاثیر ارتفاع لایه خاک طبیعی بر میزان انتقال آلودگی- گزینه سوم طرح مدفن در حالت جرم محدود در کف لندفیل



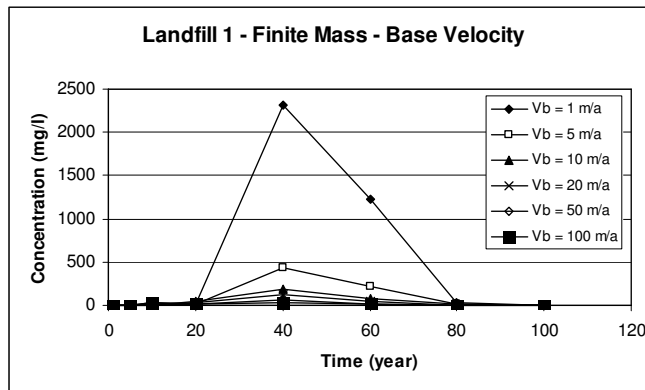
شکل ۸: تغییرات غلظت نسبت به زمان در سفره آب زیرزمینی- تاثیر ضخامت سفره آب زیرزمینی بر میزان انتقال آلودگی- گزینه اول طرح مدفن در حالت جرم محدود در کف لندفیل



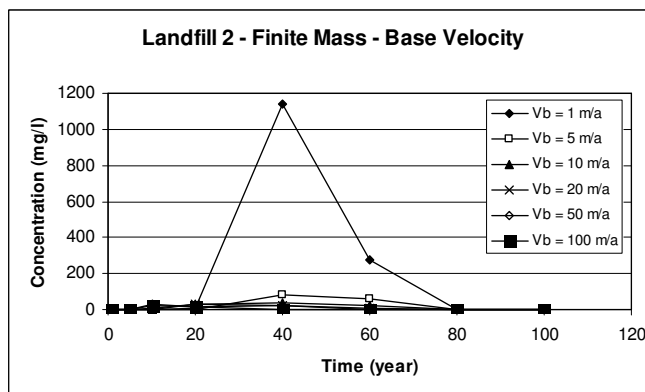
شکل ۹: تغییرات غلظت نسبت به زمان در سفره آب زیرزمینی- تاثیر ضخامت سفره آب زیرزمینی بر میزان انتقال آلودگی- گزینه دوم طرح مدفن در حالت جرم محدود در کف لندفیل



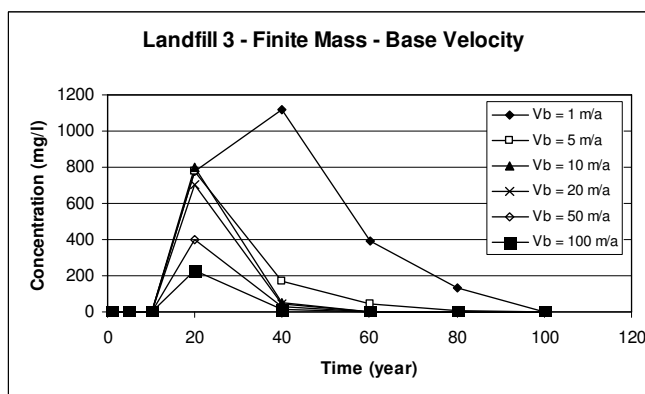
شکل ۱۰: تغییرات غلظت نسبت به زمان در سفره آب زیرزمینی- تاثیر ضخامت سفره آب زیرزمینی بر میزان انتقال آلودگی- گزینه سوم طرح مدفن در حالت جرم محدود در کف لندفیل



شکل ۱۱: تغییرات غلظت نسبت به زمان در سفره آب زیرزمینی- تاثیر سرعت جریان آب در سفره آب زیرزمینی بر میزان انتقال آلودگی- گزینه اول طرح مدفن در حالت جرم محدود در کف لندفیل



شکل ۱۲: تغییرات غلظت نسبت به زمان در سفره آب زیرزمینی- تاثیر سرعت جریان آب در سفره آب زیرزمینی بر میزان انتقال آلودگی- گزینه دوم طرح مدفن در حالت جرم محدود در کف لندفیل



شکل ۱۳: تغییرات غلظت نسبت به زمان در سفره آب زیرزمینی- تاثیر سرعت جریان آب در سفره آب زیرزمینی بر میزان انتقال آلودگی- گزینه سوم طرح مدفن در حالت جرم محدود در کف لندفیل

۶- بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از محاسبات را می توان برای هر متغیر به صورت زیر مورد بحث و بررسی قرار داد:

۶-۱ ارتفاع لایه خاک طبیعی (HI):

همان طور که در شکل ۵ دیده می شود غلظت یون کلر برای ارتفاع لایه های متفاوت (HI) پس از طی زمان معینی شروع به افزایش کرده و پس از رسیدن به یک غلظت حداکثر معین، در همان غلظت باقی مانده و پس از آن تغییرات محسوسی در آن مشاهده نمی شود. این روند برای هر ارتفاع اتفاق می افتد با این تفاوت که با افزایش ارتفاع، زمان شروع افزایش غلظت و رسیدن آن به غلظت حداکثر افزایش می یابد. به بیان دیگر با افزایش ارتفاع لایه خاک طبیعی افزایش آلودگی در لایه آبدار زیرین به تاخیر می افتد. ولی همچنانکه مشاهده می شود غلظت نهایی در لایه آبدار به ارتفاع لایه خاک طبیعی بستگی ندارد. ضمناً غلظت یون پس از رسیدن به یک نقطه اوج روند کاهش در پیش گرفته و تدریجاً به غلظت صفر نزدیک می شود. بنابراین در این حالتها با افزایش ارتفاع خاک طبیعی، زمان اتفاق غلظت ماکزیمم به تاخیر می افتد ولی مقدار غلظت ماکزیمم به ارتفاع لایه بستگی ندارد. نکته دیگر در اشکال ۵، ۶ و ۷، تاثیر نوع لندفیل در انتقال آلودگی از لندفیل به سفره زیرین می باشد. همان طور که مشاهده میشود با اجرای لایه زهکش شیرابه در گزینه دوم طرح لندفیل، نقاط اوج غلظتها نسبت به گزینه اول طرح لندفیل به میزان قابل ملاحظه ای کاهش مییابد. همچنین با اجرای لایه رسی در گزینه سوم طرح لندفیل، غلظت یون کلر در لایه آبدار نسبت به گزینه دوم طرح لندفیل با سرعت بیشتری کاهش می یابد و سفره با سرعت بیشتری، از آلودگی پاک می شود.

۶-۲ ضخامت سفره آب زیرزمینی (Hb):

همان طور که در اشکال ۸ الی ۱۰ مشاهده می شود، افزایش ضخامت سفره موجب کاهش غلظت یون کلر در کل مدت مورد بررسی می شود. یعنی مثلاً با پنج برابر شدن ضخامت سفره، غلظت در زمانهای مختلف تقریباً یک- پنجم می شود. داشتن نقطه اوج و سپس کاهش تدریجی غلظت در حالتهای جرم محدود به وضوح قابل تشخیص است. همانند بخش قبل در شکل ۱۰ که مربوط به گزینه سوم طرح لندفیل است، مشاهده میشود که کاهش غلظت از حالت اوج به مقادیر پایین تر، سریعتر از گزینه دوم طرح لندفیل اتفاق می افتد.

۶-۳ سرعت جریان افقی آب در سفره آب زیرزمینی (Vb):

تاثیر سرعت جریان افقی آب زیرزمینی بر غلظت در سفره در اشکال ۱۱ الی ۱۳ نشان داده شده است. با مقایسه این نمودارها با نمودارهای مربوط به ضخامت سفره، تشابه بسیار نزدیکی میان آنها قابل مشاهده است. این موضوع به خاطر این است که دبی جریان در سفره حاصلظرب سطح مقطع جریان در سرعت جریان است :

$$Q = V \times A$$

و با در نظر گرفتن عرض واحد برای سطح مقطع داریم :

$$A = b \times Hb \Rightarrow q = \frac{Q}{b} = V \times Hb$$

در واقع متغیرهای ضخامت سفره (Hb) و سرعت جریان افقی آب در سفره (Vb) به صورت تاثیر بر دبی جریان در سفره، بر میزان انتقال آلودگی اثر می گذارند.

۴-۶ نتیجه گیری کلی

با استفاده از نتایج محاسبات انجام پذیرفته میتوان نتیجه گرفت که استفاده از گزینه سوم طرح مدفن، (۱) زمان رسیدن به غلظت ماکزیمم را در سفره آب زیرزمینی افزایش می دهد، (۲) مقدار غلظت در سفره را کاهش می دهد، و (۳) روند کاهش مقدار غلظت را تسریع می کند. بنابراین هر چند این گزینه مدفن دارای استاندارد های کمتری در مقایسه با مدفن های مدرن مهندسی- بهداشتی است [۱۱، ۱۲]، لیکن برای ترویج فرهنگ صحیح دفن زباله در کشور می تواند بعنوان یک گزینه بهینه برای شرایط فعلی به دست اندرکاران و متولیان امر دفع پسماندهای شهری معرفی شود.

مراجع

- [1] Rowe, R. K. (1995). Leachate characteristics for municipal solid waste landfills, Geotechnical Research Centre Report No. GEOT-8-95, The University of Western Ontario, Canada, p. 19.
- [2] U.S. EPA (1995). Manual, Groundwater and leachate treatment systems, Report No. EPA/625/R-94/005, p. 119.
- [3] Rowe, R.K., Quigley, R.M. and Booker, J.R. (1995). Clayey Barrier Systems for Waste Disposal Facilities, E & F N Spon (Champan & Hall), London, p. 390.
- [۴] بدو، کاظم (۱۳۸۴). ارزیابی طرح بهینه برای مدفن زباله از طریق محاسبات انتقال آلودگی، مجله علمی-پژوهشی استقلال، سال ۲۴، شماره ۱، جلد اول، صفحات ۱۳۵ الی ۱۵۳.
- [۵] بدو، کاظم (۱۳۸۲). محل دفن زباله، فصل نامه آموزشی- پژوهشی مدیریت پسماندها، سازمان شهرداری های کشور، شماره اول، صفحات ۱۶ الی ۳۱.
- [6] Rowe, R.K. and Booker, J.R. (1994). POLLUTE v.6., 1D pollutant migration through a non-homogeneous soil, Distributed by GAEA Environmental Engineering Ltd., 44 Canadian Oaks Drive, Whitby, Ontario, Canada.
- [۷] جعفری، هادی (۱۳۸۳). مطالعه آزمایشگاهی حرکت آلودگی از یک منبع آلوده به طرف لایه های خاکی با استفاده از مدل دوبعدی، پایان نامه کارشناسی ارشد خاک و پی، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه ارومیه.
- [8] Rowe, R.K. and Badv, K. (1996). Advective-diffusive contaminant migration in unsaturated coarse sand and fine gravel, ASCE - Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, No. 12, pp 965-975.
- [9] Badv, K. and Rowe, R.K. (1996). Contaminant transport through a soil liner underlain by an unsaturated stone collection layer., Canadian Geotechnical Journal, Vol. 33, pp 416-430.
- [10] Rowe, R.K. and Booker, J.R. (1995). MIGRATE V9 – analysis of 2-D pollutant migration in a non-homogeneous soil system: Users manual, Distributed by GAEA Environmental Engineering Ltd., 44 Canadian Oaks Drive, Whitby, Ontario, Canada.
- [11] U.S. EPA (1991). Addendum for the Final Criteria for Municipal Solid Waste Landfills – (40 CFR Part 258) – Subtitle D of the Resource Conservation and Recovery Act (RCRA).
- [12] U.S. EPA (1998). Guidance for landfilling of waste in economically developing countries, Report No. EPA/600/SR-98/040.