DOI: http://dx.doi.org/10.22092/aridse.2016.106405
مجله تحقیقات کاربردی مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۱۷/ شماره ٦٦/سال ۱۳۹۵/ص ٤٢-۳۱

بررسی آزمایشگاهی عملکرد حصار هیدرولیکی در انتقال آلاینده‌های سطحی به آب‌های زیرزمینی

حجت احمدی*

* نگارنده مسئول: استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. تلفن: ۳۱۹۴۲۳۹۴(۰۴۴)، پیام‌نگار: h_ahmadi@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۳

چکیده

کنترل نفوذ و انتقال آلاینده‌ها از منابع آلایندهٔ سطحی، مانند مخازن دفن زباله به لایه‌های آب زیرزمینی یکی از چالش‌های مهم در مهندسی محیط زیست است. در این تحقیق، روشی جدید برای کنترل انتقال آلاینده‌ها از منابع آلاینده سطحی به لایه‌های زیرین و آب زیرزمینی در آزمایشگاه مطالعه شده است. برای این منظور، یک لایه حصار هیدرولیکی به صورت یک لایهٔ خاک ماسه‌ای تمیز محصور بین دو لایهٔ خاک رسی ایجاد و حرکت قائم آلاینده به‌سمت منبع آب تعبیه شده در زیر این لایه‌ها بررسی شد. منبع آلاینده حاوی غلظت مشخصی از یون کلر در بالای ستون خاک با هد ثابت در نظر گرفته شد و حصار هیدرولیکی به کمک چاهک تزریق آب ایجاد گردید. نتایج این بررسی نشان داد که چاهک تزریق آب و حصار هیدرولیکی می‌توانند ورود آلاینده‌ها را از منابع سطحی به لایه‌های زیرین و آب زیرزمینی به میزان حداقل ۹۰ درصد کاهش دهند. همچنین، نتایج تحقیق نشان داد که بهترین عملکرد چاهک در ایجاد حصار هیدرولیکی زمانی است که ارتفاع آب در چاهک با ارتفاع منبع آلاینده یکسان باشد و شکاف‌های تزریق آب از چاهک به لایه ماسه‌ای در وسط لایه تعبیه شود.

واژه‌های کلیدی

چاهک تزریق، لایهٔ ماسه‌ای، محل دفن زباله، محیط زیست

مقدمه

در محیط متخلخل، آلودگی به شکل‌های مختلف انتقال می‌یابد. دو فرآیند اصلی کنترل‌کنندهٔ شار جرمی مادهٔ آلاینده در محیط متخلخل یکی جابه‌جایی و دیگری پراکندگی هیدرودینامیکی است. در فرآیند جابه‌جایی، مادهٔ آلاینده سوار بر جریان آب در محیط متخلخل انتقال می‌یابد و با افزایش سرعت جریان تاثیر این ساز و کار در انتقال آلودگی بیشتر می‌شود. فرآیند پراکندگی هیدرودینامیکی از ترکیب دو ساز و کار شامل پراکندگی مکانیکی و پراکندگی مولکولی شکل می‌گیرد. پراکندگی مکانیکی متأثر از اغتشاش‌های جریان بوده و بر اثر اختلاط خطوط جریان موجود در منافذ خاک ایجاد می‌شود و به نوعی وابسته به سرعت حرکت آب در محیط متخلخل است. پراکندگی مولکولی مستقل از جریان و حرکت سیال است و تنها بر اثر اختلاف غلظت مادهٔ محلول در دو نقطه اتفاق می‌افتد. بررسی‌های مختلف صورت گرفته در مورد پدیدهٔ انتقال آلودگی و معادلات حاکم بر آن نشان داده است در حالتی‌که محیط اشباع یا غیراشباع باشد بایستی ملاحظاتی را بر اساس درصد اشباع محیط در تحلیل‌ها اعمال نمود. جوادی و همکاران (Javadi *et al.*, 2008) مطالعه موردی در خصوص انتقال آلودگی به‌کمک یک مدل عددی ترکیبی از روش اجزای

محدود و تفاضل محدود انجام دادند. نتایج بررسی این محققین نشان داد که برای مدل‌سازی دقیق روند انتقال در محیط‌های نیمه اشباع باید معادلات انتقال و جریان هوا[1] به صورت متصل در فضای مسأله تحلیل گردد. این محققین برای اعتبارسنجی معادلات و روش حل ارائه شده از داده‌های آزمایشگاهی و اطلاعات صحرایی استفاده کردند.

از منابع اصلی آلاینده‌ها در طبیعت، محل دفن زباله‌های شهری و صنعتی است که منابع آب زیرزمینی در مجاورت آنها به شدت در معرض آلودگی هستند. بنابراین، کنترل حرکت آلاینده‌ها از محل دفن و انباشت زباله‌ها و همچنین استخرهای آلوده نظیر حوضچه‌های تصفیهٔ آب به‌سمت آب‌های زیرزمینی ضروری است. بررسی‌ها در مورد محل دفن زباله‌های شهری در مصر ضرورت کنترل و تثبیت آلاینده‌ها را در جلوگیری از نفوذ آنها به آب‌های زیرزمینی تاکید کرده است (El-Salam & Abu-Zuid, 2015).

مطالعات هان و همکاران (Han *et al*., 2014) در خصوص آلودگی آب‌های زیرزمینی در محدودهٔ دفن زباله‌ها وجود غلظت‌های بالای کلر و سایر آلاینده‌ها را نشان داده و در آنها گفته شده است که پس از ۱۳ سال سفره‌های آب زیرزمینی کم‌عمق تا ۳۰ متر قابل شرب نخواهد بود. آلودگی‌های موجود در محل دفن زباله‌ها در گروه‌های مختلف نظیر فلزات سنگین، مواد معدنی و مواد آلی قابل حل و غیر قابل حل در آب قابل بررسی است (Kjeldsen *et al*., 2002). هرچند بررسی‌های محققان مختلف نشان داده است که مقدار فلزات سنگین در محل دفن زباله‌های شهری قابل توجه نیست (Revans *et al*., 1999). با این همه، آلاینده‌هایی نظیر هیدرات نیتروژن، یون‌های آهن و منگنز از منابع خطرناک آب زیرزمینی حاصل از شیرابه‌های محل دفن زباله‌ها هستند (Han *et al*., 2014). روش‌های مختلفی برای کنترل ورود آلاینده‌ها از زیر مخازن آلوده و همچنین مراکز دفن زباله‌ها ابداع شده است؛ استفاده از لایه‌های رسی متراکم[2] یکی از روش‌های ارزان و کارآمد در این خصوص است. در این روش، لایهٔ رسی به ضخامت تقریبی نیم تا یک و نیم متر در زیر محل دفن زباله به صورت متراکم تعبیه می‌شود که به علت هدایت هیدرولیکی بسیار کم این لایه، نفوذ آلاینده‌ها به میزان قابل توجهی پایین می‌آید (Giroud *et al*., 1997).

پو و همکاران (Pu *et al*., 2016) رفتار لایه‌های رسی متراکم را در کنترل انتقال آلودگی مورد بررسی قرار داده و اثر پدیده تحکیم این لایه‌ها را در کنترل آلودگی به صورت عددی مطالعه کردند. نتایج این بررسی‌ها نشان داده که پدیده تحکیم در لایه‌های رسی متراکم تاثیر قابل توجهی بر روند انتقال آلودگی از این لایه‌ها دارد. این تاثیر نه تنها در زمان تحکیم اتفاق می‌افتد، بلکه در دوره‌های بلندمدت پس از اتمام آن نیز ادامه می‌یابد. عوامل مهم تأثیرگذار در پدیدهٔ انتقال آلودگی از لایه‌های رسی متراکم شامل ضخامت لایه، مقدار تنش وارده و زمان اعمال تنش است.

علاوه بر استفاده از لایه‌های رسی متراکم، از ژئوممبران‌ها نیز در کاهش و کنترل ورود آلاینده‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی استفاده می‌شود اما به منظور افزایش عمر این مواد، استفاده از یک لایه خاک رسی متراکم در زیر لایهٔ ژئوممبران ضروری خواهد بود (Brachman & Gudina, 2008). کاربال و همکاران (Cabral *et al*., 2000) با بررسی عددی پدیدهٔ انتقال و انتشار آلودگی در محل دفن زباله شهر کبک[3] کانادا کارایی سیستم ژئوممبران را در کنترل گسترش آلودگی به لایه‌های زیرزمینی را گزارش نمودند. در این سیستم از دو لایه ژئوممبران به عنوان سیستم کنترل در زیر محل دفن زباله‌های شهری استفاده شده است. البته طبق

1- Air Flow
2- Compacted Clay Linear (CCL)
3- Quebec

مدلسازی‌های صورت گرفته عملکرد مناسب این سیستم در کنترل نشر آلودگی به دلیل شرایط مناسب ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی محل دفن زباله بیان شده است.

بنسن و همکاران (Benson *et al.*, 1999) معتقدند که به‌منظور جلوگیری از حرکت مواد و عنصرهای زیان‌آور از محل دفن زباله‌ها به‌سمت لایه‌های آب زیرزمینی، استفاده از یک لایه رس متراکم به شکل پتوی رسی از روش‌های بسیار موثر است. مطالعات راو و بدو (Rowe & Badv, 1996 a, b) نشان می‌دهد که قرارگیری یک لایه خاک درشت‌دانه مانند ماسهٔ تمیز در بین دو لایهٔ خاک رس متراکم شده تأثیر قابل توجهی در بالا بردن عملکرد این لایه (به‌عنوان عایق انتقال آلاینده از محل دفن زباله‌ها به‌سمت لایه‌های آب زیرزمینی) خواهد داشت. لایهٔ ماسه‌ای غیراشباع مانند تلهٔ هیدرولیکی عمل می‌کند و از نفوذ آلاینده به آب‌های زیرزمینی می‌تواند جلوگیری کند. در شرایطی که فشار پیزومتری در آب زیرزمینی به اندازه‌ای بالا باشد که در لایهٔ ماسه‌ای بین دو لایهٔ رس جریان رو به بالا برقرار شود، عملکرد این لایه در کاهش حرکت آلاینده به‌سمت پایین بسیار افزایش می‌یابد (Badv & Najaf-Zadeh, 2012).

در طبیعت، با اینکه حرکت آلاینده‌ها از محل دفن زباله‌ها به‌سمت آب‌های زیرزمینی در قالب یک سیستم سه‌بعدی اتفاق می‌افتد، اما عمدهٔ حرکت به‌سمت لایه‌های پایین و در جهت قائم است؛ به‌همین دلیل می‌توان مسائل مربوطه را در قالب مدل‌های آزمایشگاهی یک‌بعدی و به شکل ستونی و با اندک خطای قابل قبول بررسی کرد (Martinez *et al.*, 2010). وارناک و همکاران (Varank *et al.*, 2011) با استفاده از مدل آزمایشگاهی یک‌بعدی (ستونی)، حرکت آلاینده‌های معدنی را از بین لایه‌های مختلف محل‌های دفن زباله بررسی کردند.

در این تحقیق با استفاده از ستون‌های خاک چند لایه، تأثیر لایهٔ ماسه‌ای تحت فشار هیدرولیکی، محصور در بین دو لایهٔ خاک رس متراکم شده، تحت عنوان حصار هیدرولیکی، در کاهش انتقال آلودگی محلول در آب از لایه‌های سطحی نظیر محل دفن زباله‌ها به آب‌های زیرزمینی به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. به صورت کاملاً ابداعی، فشار هیدرولیکی در داخل لایهٔ ماسه‌ای محصور بین دو لایه خاک رسی متراکم به کمک چاهک تزریق آب تامین شد. هدف این تحقیق بررسی تاثیر حصار هیدرولیکی بین دو لایهٔ خاک رسی برای کاهش حرکت آلاینده به‌سمت لایه‌های پایینی و همچنین ارزیابی نحوهٔ عملکرد روش ابداع شده در کنترل ورود آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی است.

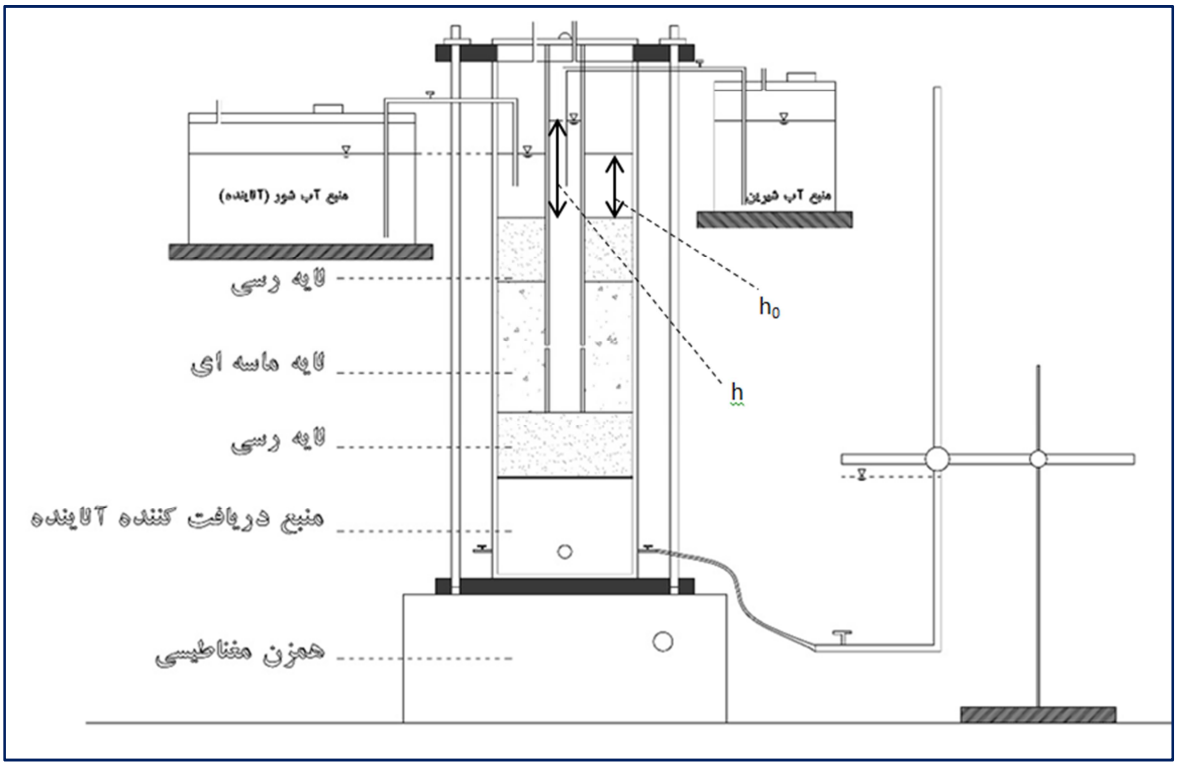
موارد و روش‌ها

در این تحقیق، حرکت آلاینده‌ها از لایه‌های سطحی به لایه‌های پایین و آب زیرزمینی با استفاده از ستون‌های خاک به قطر ۲۰ سانتی‌متر به‌صورت یک‌بعدی، در آزمایشگاه مکانیک خاک گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه بررسی شد. برای شبیه‌سازی منبع آلاینده، یک تانک به عنوان مخزن تامین‌کنندهٔ آلودگی به کار گرفته شد؛ در این منبع، غلظت مادهٔ آلاینده- برای آنکه ثابت بماند- در حین آزمایش کنترل می‌شد. برای بررسی روند حرکت آلاینده از کلرید سدیم استفاده شد و غلظت یون کلر در خلال آزمایش به عنوان معیار کنترل و ارزیابی آلودگی منتقل شده اندازه‌گیری شد؛ دلیل انتخاب یون کلر آن است که این یون در روند انتقال جذب محیط نمی‌شود. عمق منبع آلودگی در حین آزمایش برابر با ۵ سانتی‌متر ثابت نگه‌داشته شد. لایه‌های خاک در زیر منبع آلاینده در قالب سه لایهٔ مختلف با ضخامت ثابت شامل دو لایه خاک رس و یک لایهٔ خاک ماسه‌ای ریز شسته شدهٔ تمیز شبیه‌سازی شد. لایهٔ ماسه‌ای به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در بین دو لایه خاک رس با ضخامت ثابت و یکسان برابر با ۵ سانتی‌متر قرار داده شد. جدول ۱ مشخصات فیزیکی و مکانیکی

مصالح استفاده شده را نشان می‌دهد. در زیر لایه‌های خاک ایجاد شده، یک مخزن آب به‌عنوان آب زیرزمینی در نظر گرفته شد.

برای شبیه‌سازی چاهک‌های تزریق آب در لایهٔ ماسه‌ای، از یک لولهٔ پی‌وی‌سی به قطر ۲/۵ سانتی‌متر استفاده شد. انتهای لوله در سراسر مدت زمان آزمایش بسته و منتهی به سطح فوقانی لایهٔ رسی زیرین بود. ارتفاع آب در داخل لولهٔ پی‌وی‌سی در ترازهای مختلف در خلال آزمایش‌ها به کمک شیر سرریزهای تعبیه شده در سه تراز مختلف تنظیم می‌شد. چاهک‌های ساخته شده در عمق‌های مختلف دارای شکاف‌هایی برای تزریق جریان به عمق‌های مشخصی از لایهٔ رسی بود، این عمق‌ها شامل ارتفاع یک سوم بالایی، یک سوم میانی و یک سوم زیرین از ضخامت لایهٔ ماسه‌ای بود. به این‌ترتیب سه نوع مختلف چاهک با سه تراز مختلف از بار هیدرولیکی به‌کار گرفته شد و عملکرد هر یک از چاهک‌ها با شرایط نبود چاهک مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. به این‌ترتیب، با برقراری جریان مادهٔ آلاینده در جهت قائم از منبع آلایندهٔ حاوی یون کلر به‌سمت منبع پایین، آزمایش‌های مختلفی طی ۱۵ روز برای هر آزمایش اجرا شد.

جدول ۲، آزمایش‌های اجرا شده را به‌همراه مشخصات و شرایط هر یک از آزمایش‌ها نشان می‌دهد. همچنین، در شکل ۱ نمای کلی از مجموعه مدل آزمایشگاهی و جزییات آن نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، تراز سطح آب در مخزن زیرین (آب زیرزمینی) به کمک یک مخزن کناری برابر با ۵/۵ سانتی‌متر کنترل می‌شد تا سطح پایینی لایهٔ رسی در تماس کامل با این مخزن باشد. با تعبیهٔ شیر تنظیم تراز در این مخزن، جریان اضافی نشت‌یافته از مخزن از این شیر تخلیه و شدت جریان ورودی به‌همراه تغییرات غلظت جریان ورودی اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- جزئیات سیستم آزمایشگاهی استفاده شده در حالت شکاف در وسط چاهک و $h/h_0=1.5$

همچنین، در انتهای هر آزمایش به‌منظور تعیین عملکرد هر یک از انواع چاهک‌ها، در نقاط مختلف لایه‌های رسی و ماسه‌ای، توزیع غلظت آلاینده به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. پس از اتمام آزمایش‌ها، لایه‌های خاک به قطعات دیسکی با ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر تقسیم و مقدار آلاینده در هر قطعه اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و مکانیکی لایه‌های خاک استفاده شده

نوع خاک	درصد رطوبت بهینه (درصد)	چگالی ذرات جامد (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	حد روانی (درصد)	حد خمیری (درصد)	غلظت اولیه یون کلر (میلی‌گرم بر لیتر)	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)
رس	۱۷/۵	۲/۶۸	۳۲/۴	۲۲/۶	۸۰-۸۵	۰/۰۰۲۱۲
ماسه تمیز	-	۲/۶۵	-	-	<۵	۵/۵۲

جدول ۲- حالات مختلف آزمایش‌های اجرا شده

آزمایش	تراز سطح آب در چاهک نسبت به منبع آلودگی (h/h_0)	موقعیت شکاف چاهک تزریق	غلظت اولیهٔ آلاینده در منبع (میلی‌گرم بر لیتر)
Test 1	-	-	۱۷۷۰
Test 2 A	۱	بالا	۱۷۷۵
Test 2 B	۱/۵		۱۷۷۰
Test 2 C	۰/۵		۱۷۷۵
Test 3 A	۱	وسط	۱۷۷۵
Test 3 B	۱/۵		۱۷۷۰
Test 3 C	۰/۵		۱۷۷۵
Test 4 A	۱	پایین	۱۷۷۰
Test 4 B	۱/۵		۱۷۷۵
Test 4 C	۰/۵		۱۷۷۰

نتایج

نتایج به‌دست آمده از بررسی‌ها و آزمایش‌های این تحقیق در دو بخش مجزا ارائه شده است، یکی تاثیر فشار نسبی در چاهک‌های تزریق نسبت به عمق و فشار منبع آلاینده و دیگری تاثیر موقعیت شکاف‌های خروج آب تعبیه شده در چاهک‌های تزریق. هر بخش بر اساس آزمایش‌های مختلف و نیز بر اساس مقایسهٔ نتایج با شرایط نبود چاهک‌های تزریق ارائه شده است.

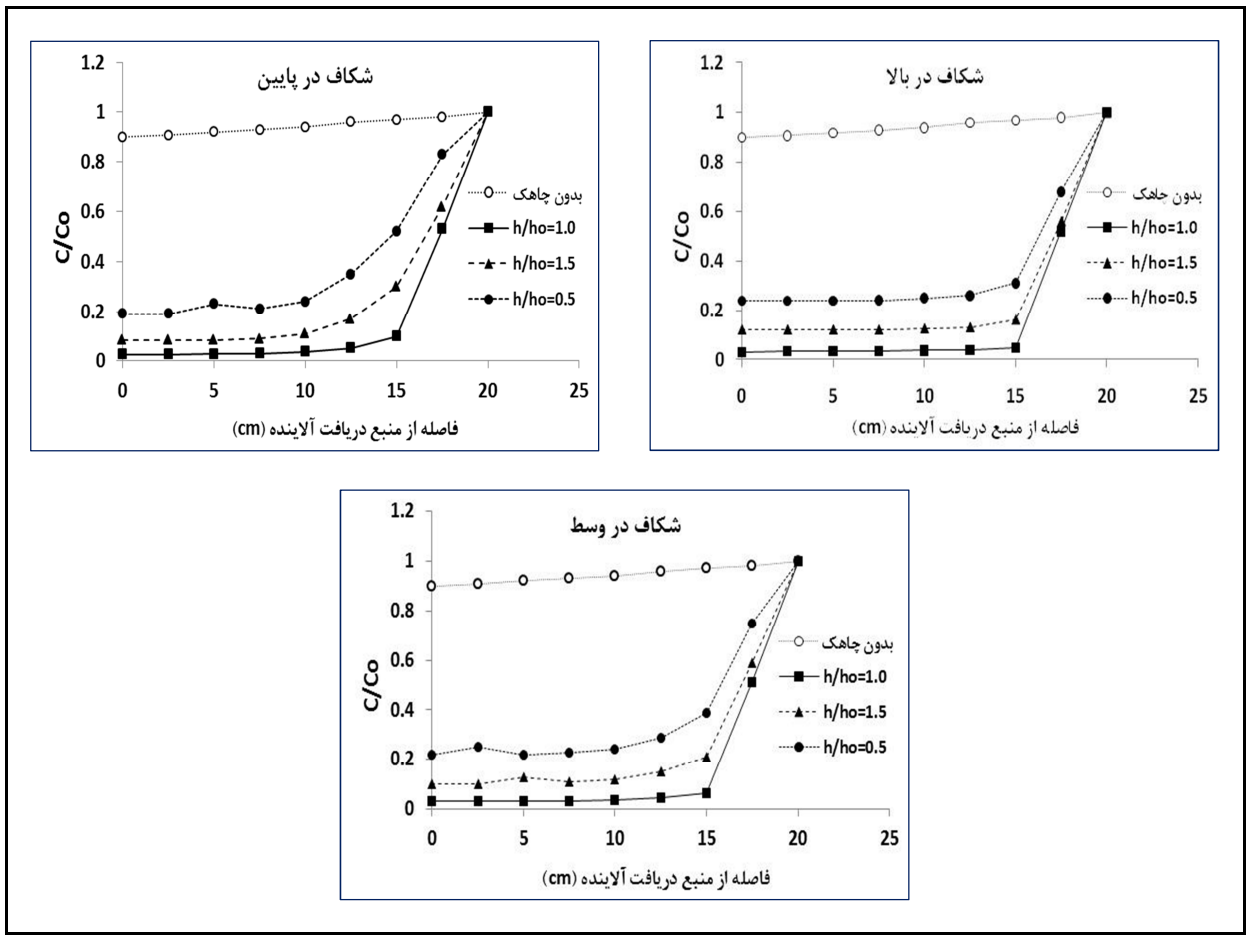
تاثیر فشار نسبی در چاهک‌های تزریق

برای بررسی اثر فشار نسبی در چاهک‌های تزریق در ایجاد حصار هیدرولیکی در لایهٔ درشت دانهٔ محصور بین دو لایهٔ ریزدانه، نسبت‌های مختلفی برای بار هیدرولیکی در داخل چاهک و منبع آلاینده در روند پخش و انتقال آلاینده به منبع دریافت‌کننده در زیر لایه‌های رسی و ماسه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل ۲ تغییرات غلظت یون کلر را پس از ۱۵ روز از شروع آزمایش‌ها برای حالتی

نشان می‌دهد که شکاف تزریق در بخش یک سوم فوقانی از لایه ماسه‌ای قرار داشته است. از این شکل مشخص است که تفاوت چشمگیری در نمودارهای ارائه شده وجود دارد به‌طوری‌که در حالت نبود چاهک، مقدار غلظت نسبی آلاینده در عمق بسیار بالاست و طی ۱۵ روز از آغاز آزمایش، غلظت یون کلر به غلظت این یون در منبع آلاینده نزدیک شده است. به‌طوری‌که غلظت نسبی آلودگی در مخزن آب پایین ستون خاک به حدود ۰/۹۵ غلظت منبع آلاینده رسیده است. در واقع وجود دو لایه خاک رس متراکم در مدت ۱۵ روز تاثیر قابل توجهی در کاهش انتقال آلاینده به لایه‌های پایین نداشته است. برای حالاتی که چاهک تزریق وجود داشته باشد، غلظت یون کلر پخش شده در طول عمق ستون مورد آزمایش بسیار کمتر است.

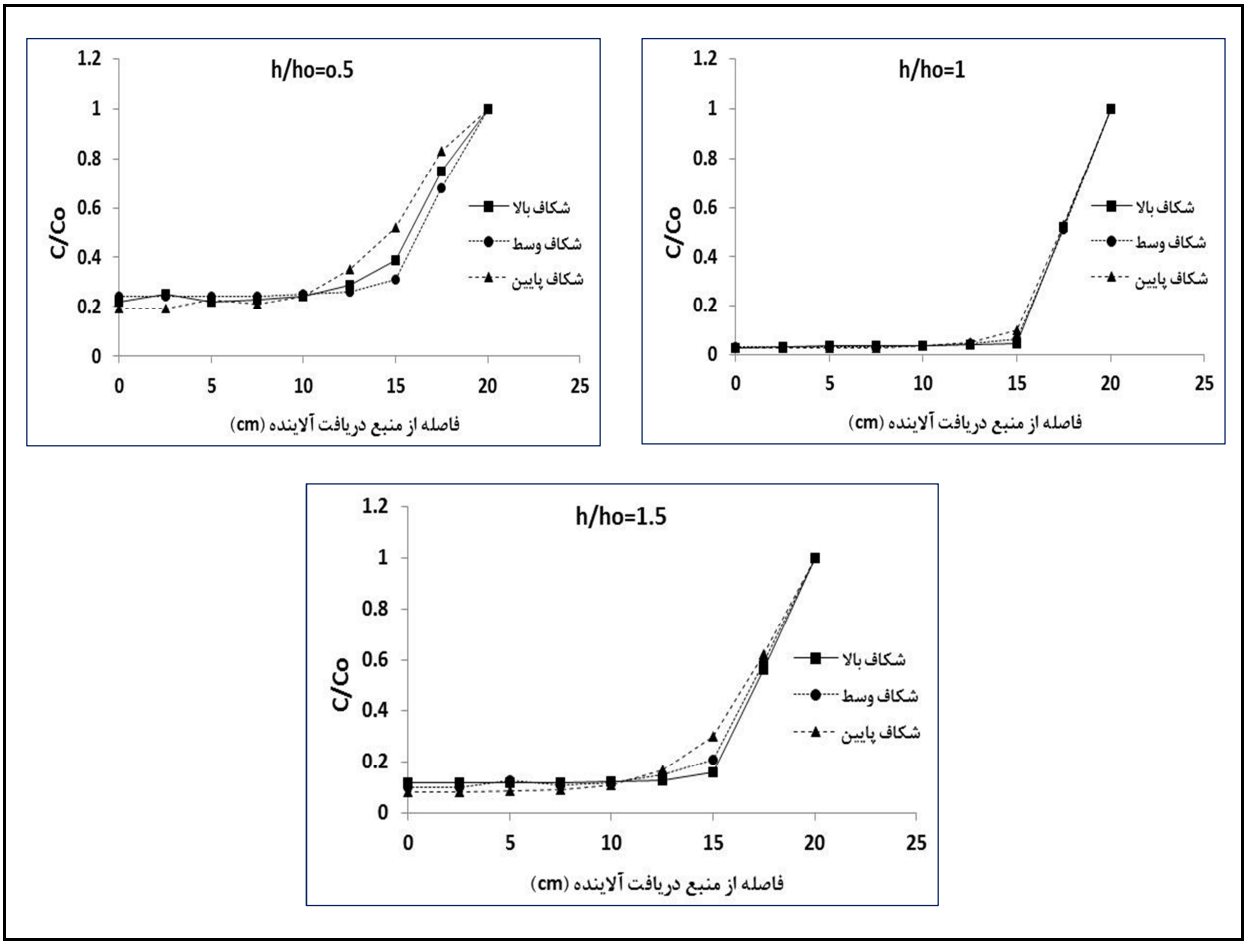
بیشترین تاثیر برای این حالت زمانی است که سطح آب در چاهک‌های تزریق با سطح منبع آلاینده هم‌تراز باشد. مقایسهٔ نمودارهای ارائه شده در شکل ۲ نشان می‌دهد که موقعیت شکاف چاهک تزریق تأثیر چندانی بر فشار نسبی چاهک ندارد. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود، بهترین عملکرد در هر سه حالت از موقعیت شکاف تزریق چاهک در حالت h/h_o=۱ اتفاق افتاده است.

تاثیر چاهک در کاهش ورود آلاینده به لایه‌های پایین را این گونه می‌توان توجیه کرد که به‌دلیل وجود لایهٔ رسی پایینی، فشار هیدررولیکی در لایهٔ ماسه‌ای بالا می‌رود در نتیجه گرادیان هیدرولیکی در لایهٔ اول رسی کاهش پیدا کرده و از شدت جریان ورودی از منبع آلاینده به این لایه کاسته می‌شود.



شکل ۲- تغییرات غلظت آلاینده در طول ستون آزمایشی پس از ۱۵ روز در حالات مختلف با چاهک تزریق و بدون آن

این موضوع در شکل ۲ و در فاصلهٔ تغییرات بین ۱۵ تا ۲۰ محورهای افقی - که مربوط به لایه خاک رسی بالایی است- کاملا مشهود است. در حقیقت، کاهش جریان ورودی از منبع آلاینده به معنای کاهش سرعت جریان در این لایه است و به تبع آن از شدت انتقال آلاینده به شکل پدیدهٔ جابه‌جایی کم می‌شود. با توجه به پدیده‌های حاکم بر انتقال آلودگی، اگر فشار هیدرولیکی در لایهٔ ماسه‌ای به اندازه‌ای بالا رود که باعث ایجاد جریان معکوس در لایهٔ رسی اول گردد، انتقال از طریق پدیدهٔ جابه‌جایی متوقف خواهد شد. اما از آنجا که سرعت جریان تمیز رو به پایین در لایهٔ رسی پایین و لایهٔ ماسه‌ای بیشتر می‌شود، گرادیان غلظت در طول ستون بیشتر می‌شود و انتقال آلودگی به‌دلیل پدیدهٔ هیدرودینامیکی تشدید خواهد شد. همین امر موجب شده که تأثیر حالت $h/h_o=1.5$ در کاهش انتقال آلودگی نسبت به حالت $h/h_o=1$ کمتر باشد. بررسی دقیق پدیده غالب در انتقال آلودگی و در نتیجه تعیین هد مناسب برای چاهک تزریق و فشار هیدرولیکی در لایهٔ حصار هیدرولیکی نیاز به آزمایش‌های بیشتری دارد. مقدار آلودگی نسبی در منبع آلاینده برای سه حالت مختلف از قرارگیری شکاف چاهک به‌ترتیب از مقدار حدود ۰/۲ تا ۰/۰۵ متغیر بوده و این موضوع نشان می‌دهد که با استفاده از سیستم حصار هیدرولیکی می‌توان بیش از ۹۰ درصد از ورود مقدار آلاینده به مخزن آب زیرزمینی کاست.



شکل ۳- تاثیر موقعیت شکاف چاهک بر توزیع غلظت آلاینده در طول ستون‌های خاک بررسی شده

تاثیر موقعیت شکاف چاهک

موقعیت شکاف در چاهک به‌عنوان یک متغیر در عملکرد چاهک‌های تامین حصار هیدرولیکی ارزیابی شد که نتایج حاصل از این بررسی با مقایسهٔ غلظت آلاینده‌ها در طول ستون‌های آزمایشی ارائه می‌گردد. برای این منظور نتایج آزمایش‌های تحت هد یکسان آب در چاهک‌های تزریق با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج این بررسی، از نمودارهای ارائه شده در شکل ۲ نیز به نوعی قابل استخراج است اما برای مقایسهٔ بهتر تاثیر موقعیت چاهک‌ها، نتایج به دست آمده در شکل ۳ نشان داده شده است. بررسی موقعیت شکاف‌های تزریق در عملکرد چاهک‌ها نشان می‌دهد که نقش موقعیت چاهک‌ها در محدودهٔ بررسی شده جزئی است؛ یعنی موقعیت شکاف‌های ورود آب از چاهک تزریق به لایهٔ ماسه‌ای نقش قابل توجهی در روند پخش آلاینده در طول ستون نداشته است. با این حال، مقایسهٔ نمودارها نشان می‌دهد که بیشترین تاثیر چاهک تزریق زمانی است که شکاف‌های خروج آب در بخش میانی لایهٔ ماسه‌ای قرار گرفته باشند.

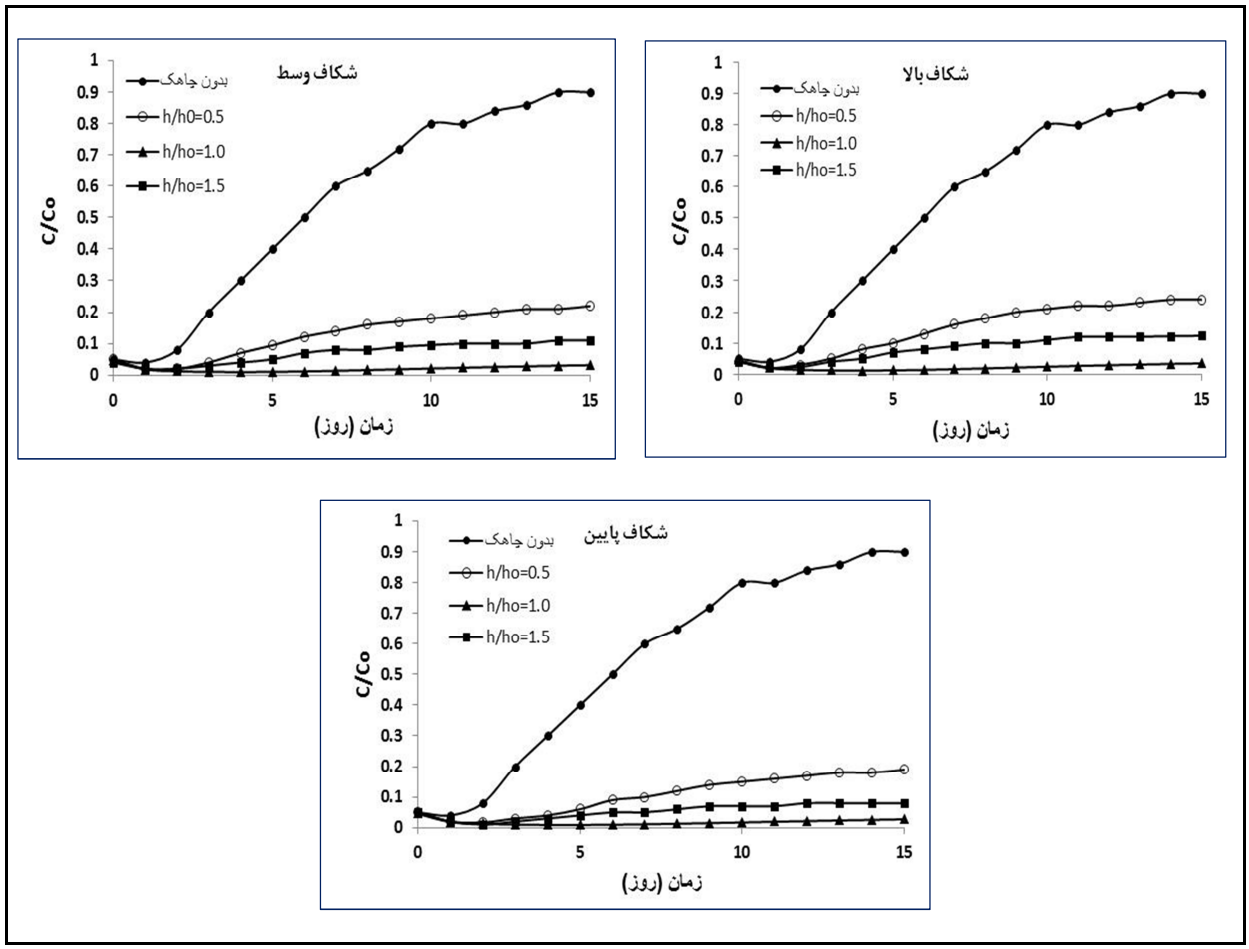
همچنین، مقایسهٔ نمودارهای در هر یک از حالت مربوط به تراز نسبی آب در چاهک به منبع آلاینده نشان می‌دهد که وقتی $h/h_o=0.5$ باشد، تأثیر موقعیت شکاف نسبت به سایر حالات بررسی شده از نسبت h/h_o بیشتر است. البته در این حالت نیز مقدار آلودگی دریافت شده توسط منبع آب شیرین در پایین ستون‌های آزمایشگاهی مستقل از موقعیت شکاف بوده و تأثیر موقعیت مکانی شکاف نسبت به لایه ماسه‌ای تا میانه لایه ماسه‌ای بوده و طبق نمودارهای ارائه شده در شکل ۳، در بخش میانه پایینی منحنی‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود.

کمترین حساسیت به موقعیت شکاف‌ها در عملکرد حصار هیدرولیکی در شرایطی مشاهده شد که نسبت بار هیدرولیکی در چاهک و منبع آلاینده در یک تراز باشد. یعنی در این حالت روند انتقال هیچ‌گونه تأثیری از موقعیت شکاف چاهک ندارد و توزیع غلظت آلاینده در جهت قائِم در طول ستون آزمایشگاهی تقریباً یکسان حاصل شد. در نهایت مقایسه بین نتایج حاصل از این بخش از تحقیق بیانگر این است که در حالتی‌که تراز سطح آب در چاهک نسبت به منبع آلودگی ۱/۵ باشد موقعیت شکاف چاهک در لایه ماسه‌ای فقط بر توزیع غلظت در لایهٔ رسی فوقانی تأثیر داشته و همچنین اثر جزئی در مقدار آلودگی وارد شده به بخش‌های فوقانی لایه ماسه‌ای دارد و میزان آلودگی رسیده از منبع فوقانی به بخش‌های میانی و پایینی لایه ماسه‌ای و همچنین لایه رس پایینی متأثر از موقعیت چاهک نیست.

تغییرات غلظت در منبع آب

یکی از اهداف این تحقیق بررسی اثر حصار هیدرولیکی در جلوگیری و کاستن از ورود آلاینده از منابع سطحی، نظیر محل‌های دفن زباله، به منابع آب زیرزمینی است. اندازه‌گیری روزانهٔ غلظت مادهٔ آلاینده در منبع آب تعبیه شده در زیر ستون خاک آزمایشگاهی در روند آزمایش‌ها نشان داد که حصار هیدرولیکی ایجاد شده در لایهٔ میانی ستون خاک آزمایشگاهی، به کمک چاهک‌های تزریق، نقش قابل توجهی در کاستن از ورود آلاینده از مخازن آلودهٔ سطحی به آب زیرزمینی دارد. با توجه به نتایج این بخش از تحقیق، که در شکل ۴ نشان داده شده است، مشاهده می‌شود که تغییرات غلظت منبع آلاینده با زمان، در حالت وجود چاهک‌های تزریق و به تبع آن وجود حصار هیدرولیکی، در مقایسه با حالتی‌که حصار هیدرولیکی وجود ندارد، بسیار کم است. این موضوع نشان‌دهندهٔ عملکرد بسیار خوب چاهک‌های تزریق در ایجاد حصار هیدرولیکی به‌منظور ایجاد مانع در مسیر حرکت آلاینده‌ها به‌سمت سفرهٔ آب زیرزمینی است.

مقایسهٔ سه نمودار ارائه شده در شکل ۴ نشان می‌دهد که در تمام حالات و موقعیت‌های شکاف چاهک‌ها، بهترین عملکرد حصار هیدرولیکی زمانی حاصل شده که h/ho =۱ باشد.



شکل ٤- تغییرات غلظت آلاینده در منبع دریافت‌کننده نسبت به زمان برای حالت‌های مختلف قرارگیری شکاف چاهک تزریق

نتیجه‌گیری

وجود لایهٔ ماسه‌ای با نفوذپذیری بالا در بین دو لایهٔ خاک رسی می‌تواند نقش قابل توجهی در کاهش انتقال آلاینده از منابع آلاینده سطحی به لایهٔ آب زیرزمینی داشته باشد. با استفاده از چاهک‌های تزریق آب به لایه ماسه‌ای محصور در بین دو لایه خاک رسی می‌توان حصاری هیدرولیکی در زیر لایه‌های آلاینده ایجاد کرد. این حصار هیدرولیکی می‌تواند مقدار انتقال مواد آلاینده به لایه‌های پایین را بیش از ۹۰ درصد کاهش دهد. این روش، در مقایسه با روش پیشنهادی بدو و نجف‌زاده (Badv & Najafzadeh, 2012) موسوم به تله‌های هیدرولیکی، بسیار مؤثرتر است و عملکرد بهتری در کاهش انتقال آلاینده‌ها به لایه‌های پایین می‌تواند داشته باشد. بهترین عملکرد چاهک‌های تزریق آب در ایجاد حصار هیدرولیکی زمانی حاصل می‌شود که سطح آب در چاهک با سطح آلاینده در منبع آلودگی تراز باشد. اگر این شرط وجود نداشته باشد، عملکرد چاهک زمانی که دارای هد بالاتر از هد آلاینده باشد بهتر از حالتی است که هد در چاهک پایین‌تر از تراز مخزن آلاینده باشد. بررسی موقعیت شکاف‌های تزریق آب در چاهک نشان می‌دهد که بهترین

عملکرد لایهٔ حصار هیدرولیکی زمانی حاصل می‌شود که آب از بخش‌های میانی به لایهٔ ماسه‌ای تزریق شود. موقعیت شکاف‌ها در عمق، نسبت به شکاف‌های تعبیه شده در بخش‌های بالایی لایهٔ ماسه‌ای، تأثیر بهتری از خود نشان می‌دهد هرچند اختلاف در این شرایط چندان قابل توجه نیست. زمانی که سطح آب در چاهک با سطح آلاینده در منبع آلودگی هم‌تراز باشد، موقعیت شکاف‌ها در عملکرد چاهک‌ها در ایجاد حصار هیدرولیکی قابل توجه نیست.

مراجع

Badv, K. and Najafzade, M. 2012. Comparison of the performance of contaminant transport barriers using laboratory models. J. Water Soil Sci. 23(2): 71-84. (in Persian)

Benson, C., Daniel, D. and Boutwell, G. 1999. Field performance of compacted clay liners. J. Geotech. Geoenviron. Eng. 125(5): 390-403.

Brachman, R. W. I. and Gudina, S. 2008. Gravel contacts and ceomembrane strains for a GM/CCL composite liner. Geotext. Geomembranes. 26(6): 448-459.

Cabral, A., Demers, L. and Ciubotariu, R. 2000. Potential contaminant migration at a contaminated soils landfill site in Quebec. In: Zornberg, J. G. and Christopher, B. R. (Eds.) Advances in Transportation and Geoenvironmental Systems Using Geosynthetics. Proceeding of Sessions of Geo-Denver Congress.

El-Salam, M. M. A. and Abu-Zuid, G. I. 2015. Impact of landfill leachate on the groundwater quality: a case study in Egypt. J. Adv. Res. 6(4): 579-586.

Giroud, J. P., Badu-Tweneboah, K. and Soderman, K. L. 1997. Comparison of leachate flow through compacted clay liners in landfill liner systems. Geosynth. Int. 4(3-4): 391-431.

Han, D., Tong, X., Currell, M. J., Cao, G., Jin, M. and Tong, C. 2014. Evaluation of the impact of an uncontrolled landfill on surrounding groundwater quality, Zhoukou, China. J. Geochem. Explor. 136, 24-39.

Javadi, A., Al-Najjar, M. and Evans, B. 2008. Numerical modeling of contaminant transport through soils: case study. J. Geotech. Geoenviron. 134(2): 214-230.

Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A. and Christensen, T. H. 2002. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. Crit. Rev. Env. Sci. Tec. 32(4): 297-336.

Martinez, F. S. J., Pachepsky, Y. A. and Rawls, W. J. 2010. Modelling solute transport in soil columns using advective-dispersive equations with fractional spatial derivatives. Adv. Eng. Softw. 41(1): 4-8.

Pu, H., Fox, P. and Shackelford, C. 2016. Assessment of consolidation-induced contaminant transport for compacted clay liner systems. J. Geotech. Geoenviron. Doi: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001426.

Revans, A., Ross, D., Gregory, B., Meadows, M., Harries, C. and Gronow, J. 1999. Long term fate of metals in landfill. Proceedings of the 7th International Waste Management and Land Symposium. Cagliari. Italy.

Rowe, K. R. and Badv, K. 1996a. Chloride migration through clayey silt underlain by fine sand or silt. J. Geotech. Eng. 122(1): 60-68.

Rowe, K. R. and Badv, K. 1996b. Advection- diffusive contaminant migration in unsaturated sand and gravel. J. Geotech. Eng. 122(12): 965-975.

Varank, G., Demir, A., Yetilmezsoy, K., Bilgili, M. S., Top, S. and Sekman, E., 2011. Estimation of transport parameters of phenolic compounds and inorganic contaminants through composite landfill liners using one-dimensional mass transport model. Waste Manage. 31(11): 2263-2274.

AERI *Journal of Applied Research in Irrigation and Drainage Structures Engineering/Vol.17/No.66/2016/P:31-42*

Experimental Investigation on the Performance of Hydraulic Barrier in Transport of Surface Contaminant to the Groundwater

H. Ahmadi*

* Corresponding Author: Assistant professor, Water Engineering Department of Agriculture Faculty, Urmia University, Urmia, Iran. Email: h.ahmadi@urmia.ac.ir
Received: 27 December 2015, Accepted: 22 April 2016

Control of contaminant transport from surface pollutant resources such as landfills to groundwater is one of the most important challenges in environmental engineering. In this research a new technique was experimentally studied in order to control transportation of contaminants from surface pollutant to underground layers and groundwater. Therefore, a hydraulic barrier in the form of the clean sandy soil was placed in between two layers of clayey soil as a column test, and downward movement of contaminant from surface to a fresh water source located beneath column test was investigated. Contaminated source in the form of Cl^{-1} ions, under constant head was created and the hydraulic barrier was produced via fresh water injection wells, expanded in sandy layer. The results of this research revealed that providing injection wells with hydraulic barrier can reduce contaminant transport from surface to groundwater more than 90 percent. Furthermore, the results showed that the best performance of injection wells in the creation of hydraulic barrier happens while the hydraulic head in the wells and the level of contamination resource are being at the same level. It needs to be mentioned that the screen of injection well should be located at the middle of sandy layer.

Keywords: Environment, Injection Well, Landfill, Sandy Layer