دلایل احداث لندفیل و بررسی تاثیرات زیست‌محیطی و راهکارهای ژئوتکنیکی بهبود اثرات منفی آن‌ها

مرجان شاهین‌فر[۱]، غلامرضا لشکری پور*[۲]، اکبر جعفرآذری خزینه[۳]

۱. دانشجوی دوره دکتری زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، shahinfar.marjan@mail.um.ac.ir

۲. استاد گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد، lashkaripour@um.ac.ir

* نویسنده مسئول

۳. دانشجوی دوره دکتری زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، akbar.jafarazari@modares.ac.ir

چکیده

دفن زباله متداول‌ترین روش دفع در ایران و سایر نقاط دنیا می‌باشد. البته باید در نظر داشت از نظر مدیریت مواد زائد جامد شهری باید سعی شود که مقدار زباله تولیدی در حد امکان کاهش یابد و قسمتی از آن که قابل بازیافت است درحد امکانات موجود بازیافت گردد. بازیافت زباله به طورمعمول مستلزم سرمایه گذاری اولیه می‌باشد و همچنین تمهیداتی برای کود حاصل از بازیافت، در منطقه اندیشیده نشود خود می‌تواند مشکلات دیگری را در زمینه دفع آن به همراه داشته باشد و همچنین ظرفیت روش‌های بازیافت در مقایسه با حجم تولیدی اندک است. به این دلیل گزینه دفن معمول‌ترین گزینه برای دفع مواد زائد جامد شهری حتی درکشورهای پیشرفته می‌باشد. خاک رس ماده اصلی برای کاهش هدایت هیدرولیک و مانع انتقال آلودگی در لاینر رسی لندفیل است که علاوه بر این موارد باید مقاومت کافی در برابر تنش وارده را داشته باشد. رس‌های متراکم شده به صورت سنتی به عنوان مصالح مانع انتقال آلودگی، در مدفن‌های زباله مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مناطقی که ممکن است خاک رس مناسب دردسترس نباشد و ضوابط لازم را تامین نکند، می‌بایست ازمصالح جایگزین و یا مواد افزودنی استفاده نمود. استفاده ازمواد افزودنی شامل انواع خاک‌های ریزدانه و درشت‌دانه برای تغییرات و بهبود خصوصیات خاک‌های مسئله‌دار در سراسر جهان مورد توجه محققین بوده و به کار گرفته شده است. از آنجایی که فرآیند انتخاب محل دفن زباله چالش برانگیز است، شناسایی محل‌های دفن مناسب، یک فرآیند پیچیده و چند رشته‌ای است و نیاز به در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی، اکولوژیکی، اجتماعی و مهندسی دارد.

کلیدواژه: زیست محیطی، لندفیل، بازیافت، شیرابه، لاینر رسی و ژئوتکنیکی

۱- مقدمه

لندفیل سطحی از زمین است که زباله‌ها در آن نگه‌داری می‌شوند و در نتیجه تراز سطح زمین عوض می‌شود. در میان رویکردهای مختلفی که در مدیریت مواد زائد جامد شهری وجود دارد، لندفیل‌ها هم‌چنان به عنوان مقصد نهایی مواد زائد جامد می‌باشند. شناسایی محل‌های دفن مناسب، یک فرآیند پیچیده و چند رشته‌ای است. فرآیند انتخاب محل دفن چالش برانگیز است، زیرا کنترل و ارزیابی توسط قوانین و مقررات و عوامل و محدودیت‌های مختلف هدایت می‌شود (احمدیان و همکاران، ۱۳۹۵). دفن زباله آخرین روش در مدیریت یکپارچه زباله‌های جامد است. کاهش در منبع، استفاده مجدد، بازیافت، بهبود و سوزاندن برای تولید انرژی مراحل مقدم‌تر بر دفن زباله هست (Waste incineration, 2010 and African development bank, 2002). عمده‌ترین مشکل محل دفن مواد زائد جامد شهری، شیرابه و گاز تولید شده در اثر تجزیه زباله‌های دارای ترکیبات آلی می‌باشد. در این بین مهم‌ترین عامل آلودگی آب در محل دفن مواد زائد جامد، شیرابه است که با ورود به آب‌های سطحی یا زیرزمینی خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی برای موجودات زنده ایجاد می‌کند. ویژگی‌های خاص ترکیب زباله‌ی شهری در ایران، از جمله درصد بالای مواد فسادپذیر و رطوبت و همچنین شرایط

خاص اقلیمی نظیر بارندگی کم و تبخیر زیاد سبب شده است که شیرابهٔ حاصل دارای بار آلودگی بالایی در مقایسه با کشورهای صنعتی باشد. از آنجا که این شیرابه با نفوذ در آب‌های زیرزمینی می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به وجود آورد، می‌بایست سیستمی برای کنترل نشت شیرابه به داخل آب‌های زیرزمینی و یا حذف آلاینده‌های شیرابه پیش‌بینی شود که مانع از پخش آلاینده‌ها گردد. باید دقت کرد که هرچند وظیفه اصلی یک لاینر جلوگیری از نشت شیرابه به داخل آب‌های زیرزمینی است، ولی در شرایطی که محل‌های دفن زباله در ایران فاقد هرگونه سیستم جمع‌آوری شیرابه هستند، لذا بررسی میزان حذف و یا تضعیف آلاینده‌های موجود در شیرابه ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرف دیگر از آنجا که گزینه‌های مختلف لاینر بر هزینه‌های محل دفن بهداشتی بسیار موثر است، لذا انتخاب صحیح و مبتنی بر دانش و قضاوت مهندسی لاینر، جهت کنترل نفوذ آلاینده‌های شیرابه در بهینه کردن هزینه‌ها بسیار موثر است. در حال حاضر استفاده از لاینرهای خاکی به دلیل وجود مصالح مناسب در محل‌های دفن در ایران و همچنین هزینه‌ی کمتر نسبت به سایر لاینرها، می‌تواند گزینه قابل قبولی باشد. با توجه به مطالعات مختلف انجام یافته، اکثر محققان معتقدند که یکی از عوامل مهم در انتخاب لاینرهای خاکی، شرایط محلی و سازگاری لاینر با شیرابهٔ تولید شده در محل مورد نظر می‌باشد.

۲- لایه‌های نفوذناپذیر

یکی از اهداف اصلی در ساخت یک مدفن مهندسی- بهداشتی جلوگیری از آلوده شدن منابع آب و خاک است. لایه‌هایی که مانع از تماس مستقیم زباله با خاک شده و از نفوذ شیرابه به داخل خاک جلوگیری می‌کنند لایه‌های نفوذناپذیر هستند. لایه‌های نفوذناپذیر را می‌توان با مواد خاکی ریزدانه نظیر خاک رس با ضخامت مناسب ایجاد کرد و یا از لایه‌های نفوذناپذیر مصنوعی که از انواع پلیمرها در کارخانه ساخته می شوند و ژئوممبرین نام دارند استفاده کرد. برای اطمینان بیشتر، استفاده از ترکیب لایه‌های نفوذناپذیر خاکی و مصنوعی نیز معمول است (Badv etal. 2009).

۳- انواع لاینرهای رسی

برای دفن مواد زائد جامد کم خطر معمولا ازسیستم لاینر رس استفاده می‌شود. اما شناسایی خاک رس خود بحث برانگیز است. فراهم آوردن منحنی دانه‌بندی که بیش‌ترین تراکم و کم‌ترین نفوذپذیری را تأمین کند مهم‌ترین بخش‌انتخاب نوع خاک است (Yucel etal.2008).

۳-۱- لاینر رسی متراکم شده CCL

در اکثر استانداردهای بین‌المللی از رس به عنوان لاینر در یک یا دو لایه استفاده شده است. رس به علت ریزدانه بودن و داشتن نفوذپذیری کم می‌تواند لاینر مانع انتقال آلودگی مفیدی باشد. می‌توان گفت یکی از عوامل مهم انتخاب محل لندفیل وجود لایه رسی در آن منطقه می باشد. تفاوت در تغییر خصوصیات ترک به تفاوت در نفوذ و قابلیت انقباض CCL ها نسبت داده می‌شود. دلیل ذاتی این امر در تفاوت در توزیع اندازه منافذ و محتوای مواد معدنی رس از CCL است. افزایش در ماده معدنی خاک رس نیز باعث کاهش حجم زیاد منافذ (کانال نفوذ اولیه) و افزایش توانایی انقباض خاک می‌شود (Wan and etal, 2018). الزامات لازم برای لاینر رسی متراکم شده CCL شامل(Barroso etal., 2006):

- ضریب نفوذپذیری ۱×۱۰^{۹} متر بر ثانیه و کمتر
- درصد حداقل رسی ۱۰٪
- شاخص خمیری بزرگ تر از ۱۰٪ و کمتر از ۶۰٪
- حداکثر اندازه ذرات ۷۵ میلی متر
- حداقل ضخامت لایه ۱ متر
- درصد ریزدانه (رس ـ سیلت) بزرگتر از ۳۰٪
- حد روانی کمتر از ۹۰٪

۳-۲- لاینرهای رسی ژئوسنتتیکی GCL

لاینرهای رسی ژئوسنتتیکی ترکیبی کارخانه‌ای از بنتونیت و ژئوتکستایل بوده که لایه بنتونیت بین دو لایه ژئوتکستایل به صورت ساندویچی قرار می‌گیرد. بسته به نوع مواد و نحوه اتصال ژئوتکستایل به بنتونیت دارای انواع مختلف می‌باشد. این مواد با داشتن خاصیت نفوذپذیری مناسب و سهولت اجرا و کنترل کیفیت خوب دارای برتری قابل توجهی نسبت به لاینرهای رسی هستند. از خصوصیات فیزیکی این مواد می‌توان نوع رس، ضخامت، جرم واحد سطح، مواد اضافه شده به پایه ژئوسنتتیکی رویه‌ها و میزان رطوبت نام برد (Shakelford etal. 2000)

با توجه به تجربیات بین‌المللی می توان حداقل خصوصیات مورد نیاز برای روکش رسی ـ ژئوسنتتیکی را به شرح زیر زیر بیان کرد:

- ✓ حداقل وزن واحد حجم ۴۴۰۰ گرم بر متر مربع
- ✓ وزن بنتونیت در واحد حجم ۴۰۰۰ گرم بر متر مربع
- ✓ حداقل مقاومت کششی ۲۰ کیلو نیوتون بر متر
- ✓ زاویه اصطکاک داخلی ۲۵ درجه
- ✓ نفوذپذیری ۵×۱۰^{-۱۱} متر بر ثانیه

جدول ۱ خواص مصالح مناسب برای لاینرهای رسی متراکم و جدول ۲ مقایسه بین عملکرد GCL ها و CCL ها می‌پردازد.

جدول ۱ : خواص مصالح مناسب برای لا ینرهای رسی متراکم (Benson et al., 1994 : Jones et al., 1995)

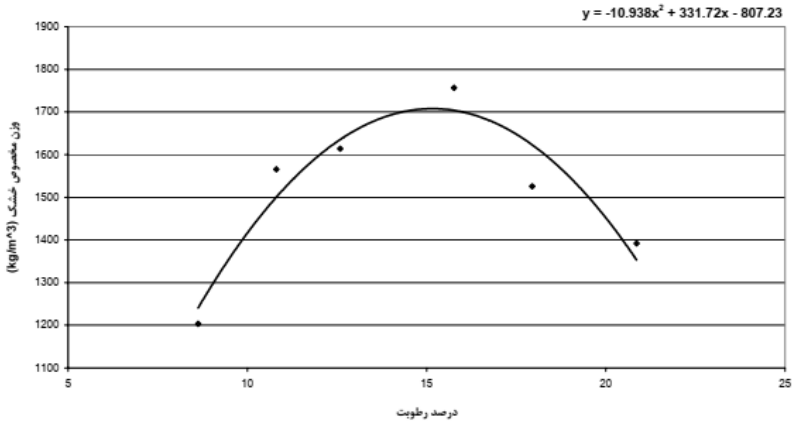
خصوصیات	مراجع	معیار و محدودیت	خصوصیات	مراجع	معیار و محدودیت
درصد ریزدانه	Daniel 1993	درصد رس و سیلت بیشتر از ۲۰ الی ۳۰ درصد	خاصیت خمیری	DOE 1995	$۱۰\% < PI < ۳۰\%$
	NRA 1992	درصد رس بیشتر از ۱۰ درصد		Daniel 1993	$PI < 7-10\%$
	Gordon	درصد رس وسیلت بیشتر از ۵۰ درصد		NRA	$PI < ۶۵\%$ $LL < ۹۰\%$
	Benson 1994	درصد رس و سیلت بیشتراز ۵۰درصدو درصد رس بیشتر از ۱۵ درصد		Murry 1992	$PI > ۱۲\%$
درصد شن	Daniel 1993	درصد شن کمتر از ۳۰ درصد		Gordon 1987	$PI > ۱۵\%$
	Benson 1994	درصد شن کمتر از ۵۰ در صد		Williams 1987	$PI > ۱۵\%$
فعالیت Activity	Benson 1994&DOE	>۰/۳		Benson 1994	$PI > ۷\%, LL.۲۰\%$

جدول ۲. مقایسه بین عملکرد GCL ها و CCL ها (Rad, 1994)

لاینر های رسی – ژئوسنتتیک	لاینرهای رسی طبیعی
یکنواختی بالا به علت تولید صنعتی	غیر همگن بودن خاک
تضمین کیفیت تولید	لزوم آزمایش مداوم خاک
عدم وابستگی اجرا به شرایط جوی	وابستگی اجرا به شرایط جوی
ضخامت متوسط ۱ سانتی متر	ضخامت متوسط ۱/۵ متر
نیاز به تراکم ندارد	تراکم در سطح بالا مورد نیاز است
ترمیم آسان با هم پوش کردن مصالح	در حالت ترمیم جایگزینی خاک لازم است
نرخ اجرا در روز بالا	نرخ اجرا در روز پایین
اتصال به عناصر سازه ای آسان می باشد	اتصال به عناصر سازه ای مشکل می باشد
حجم کمی اشغال می کند	حجم زیادی اشغال می کند
هزینه نصب و اجرای پایین	هزینه نصب و اجرای بالا

۴- تاثیر پارامترهای مختلف بر خصوصیات خاک رس

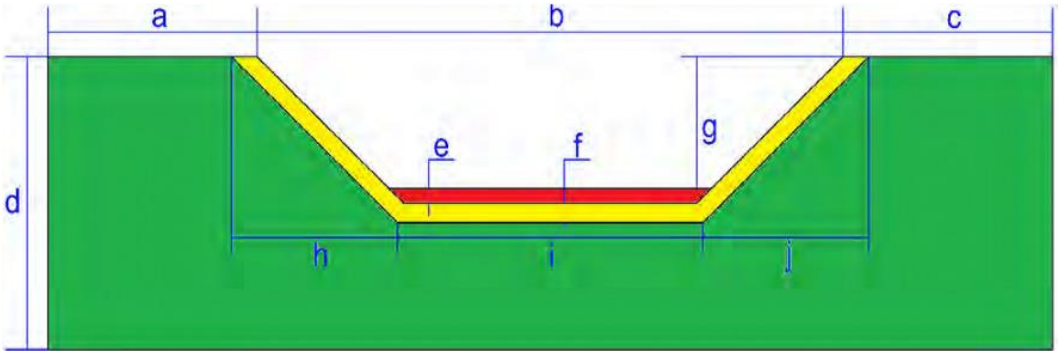
ویژگی‌های مکانیکی و نفوذپذیری خاک رس بستگی به چندین پارامتر موثر در یکدیگر دارد. درصد ماده‌های بلور نشده بی‌شکل، کاتیون‌های فروکشیده شده، چگونگی پخش و شکل و قرارگیری دانه‌ها ،ترکیبات کانی، ترکیبات شیمیایی مایع نفوذی، بافت خاک و درجه اشباع از جمله این موارد هستند. ازعواملی که بر بافت خاک رس کوبیده شده اثر می‌گذارد (شکل ۱). رطوبت خاک هنگام تراکم، روش تراکم و اندازه کلوخه و میزان چفت و بست لایه‌ها را می‌توان نام برد. تراکم رس با رطوبت ۲ تا ۴ درصد بیشتراز رطوبت بهینه باعث کاهش نفوذپذیری می‌شود. ازآن‌جا که با افزایش میزان پیچ و خم وکاهش اندازه روزنه‌ها پراکندگی و پخش رشته‌های خاک زیادتر می‌شود. پس هدف ازکوبیدن خاک، فراهم کردن بافت‌های پخش و جدا از هم است. سرشتن و ورز دادن خاک هنگام کوبیدن آن سبب فزونی تغییر شکل برشی و در نتیجه درهم شکستن و پراکنده شدن بافت‌های یکپارچه شده ازهم است. مقدارآب هنگام کوبیدن و شیوه کوبیدن نیز در قرارگرفتن دوباره دانه‌های رس موثراست و درمیزان نفوذپذیری اثر می‌گذارد. بر پایه آنچه‌که گفته شد بهترین ابزار تراکم خاک‌های رس غلتک‌های پاچه‌بزی هستند که کوبیدن و ورزدادن خاک را یک‌جا انجام می‌دهند (Danial, 1993). به منظور بهبود بخشیدن به خاک رس در لندفیل شهر کرمان آهک و بنتونیت به عنوان مصالح دفن زباله مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج تحقیقات آزمایشگاهی نشان داد که وجود آهک و بنتونیت در ترکیب با لایه رسی، هدایت هیدرولیک را بهبود بخشیده است. هم‌چنین، افزودن آهک باعث ایجاد مقادیر شکنندگی شده است (Firoozfar and Khosroshiri., 2017). در یک بررسی به منظور مطالعه سرعت شیرابه در لایه CCL و تاثیر افزودن نانوذرات به این لایه جهت کنترل سرعت نفوذ شیرابه آب‌های زیرزمینی، لایه‌های خاک در هریک از مدل‌ها ، سرعت، توتال هد و خروجی بر اساس سرعت جریان و فشار حفره‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. هر لندفیل شامل BASE ,CCL DRAIN, می‌باشد. در Slope خاک‌های غیر اشباع، ضریب نفوذپذیری بستگی به درجه اشباع خاک دارد. بدیهی است که نفوذپذیری در خاک خشک وجود ندارد. با افزایش مقدار آب در خاک، ضریب نفوذپذیری خاک به حداکثر خود می رسد. هنگامی که خاک اشباع شده است، ضریب نفوذپذیری خاک حداکثر است، بنابراین، نفوذپذیری در خاک‌های اشباع نشده افزایش می یابد. در این تحقیق، سرعت شیرابه برای حالت اشباع مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل مشخص شده است. با افزایش مقدار آب در خاک، ضریب نفوذپذیری خاک به حداکثر خود می رسد. هنگامی که خاک اشباع شده است، ضریب نفوذپذیری خاک حداکثر است، بنابراین، نفوذپذیری در خاک های اشباع نشده افزایش می یابد. رابطه بین نفوذپذیری و درجه اشباع رابطه مستقیمی است. در این تحقیق، سرعت شیرابه برای حالت اشباع مورد بررسی قرار گرفته است (باقرزاده خلخالی و همکاران،۱۳۹۷).



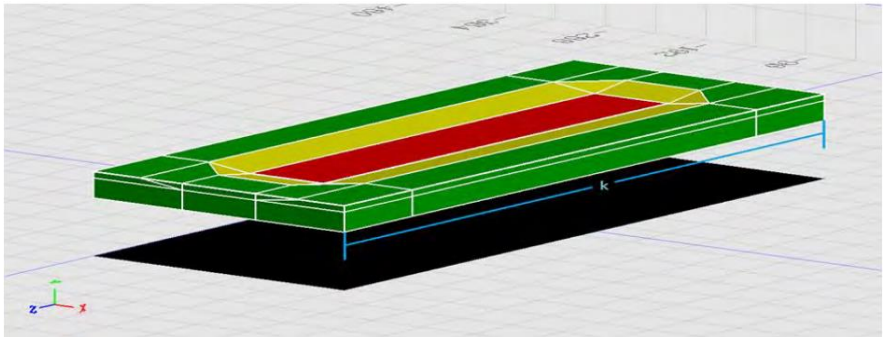
شکل ۱ - منحنی تغییرات دانسیتهٔ خشک نسبت به درصد رطوبت خاک (عبدلی و جلیلی قاضی زاده، ۱۳۸۸)

لایه پایه پایین‌ترین بخش دفن زباله است که باید از نفوذ شیرابه در آن محافظت شود. این بستر زمین است و شامل آب‌های زیرزمینی است که احتمالا در آنجا یافت می شود. این لایه با رنگ سبز در شکل ۲ ذکر شده است. بهترین وسیله برای تراکم آسترهای خاکستری، غلتک پاچه‌بزی است که به طور همزمان فشرده‌سازی و سایش را انجام می‌دهد. این لایه از رنگ زرد در شکل ۲ ذکر شده است. لایه‌های تخلیه ممکن است از خاک دانه‌ای یا ژئوسنتتیک یا ترکیبی از هر دو ساخته شود. ضخامت لایه زهکشی ۵۰ یا ۱۰۰ سانتی متر در این شبیه سازی است. این لایه توسط رنگ قرمز در شکل ۲ و ۳ ذکر شده است. جدول ۳ نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های عددی برای حالت بدون استفاده از نانو ذرات نشان می دهد. چون عدد نفوذپذیری شیرابه در معمولی بدون نانو ذره رسی در اختیار نیست و شیرابه به

لزجت و همچنین وزن مخصوص آب و شیرابه در دمای یکسان نیاز داریم نفوذپذیری خاک - اشباع معادل، مقدار نفوذپذیری شیرابه در CCL بدون نانو ذره رس طبق محاسبات مقدار سرعت شیرابه و هد کل و فشار به دست آمده است (باقرزاده خلخالی و همکاران،۱۳۹۷).



شکل۲- حالت ۲بعدی (باقرزاده خلخالی و همکاران،۱۳۹۷)



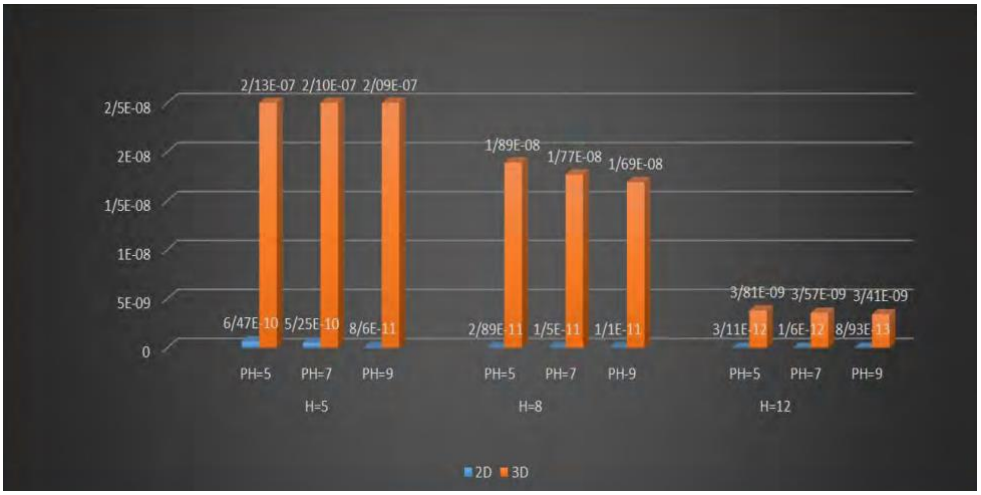
شکل۳- حالت ۳ بعدی (باقرزاده خلخالی و همکاران،۱۳۹۷)

جدول۳- مشخصات در حالت بدون استفاده از نانو ذرات (Carmen_konzey 1976).

Level of leachate (m)	Max pore water pressure (kpa)	Min pore water pressure (kpa)	Max total head (m)	Min total head (m)	Max velocity xyz (m/s)	Min velocity xyz (m/s)	K(saturation) (cm/s)
5	38.49	-143.2	14.7	0.3	3.71E-05	2.59E-07	9.36E-07
8	-2.88	-272.188	31.36	0.64	3.07E-06	1.90E-08	9.36E-07
12	-2.72	-340.99	35.28	0.72	4.15E-07	3.83E-09	9.36E-07

۵- مقایسه تاثیر PH شیرابه در سرعت نفوذپذیری (حالت ۲بعدی و ۳ بعدی):

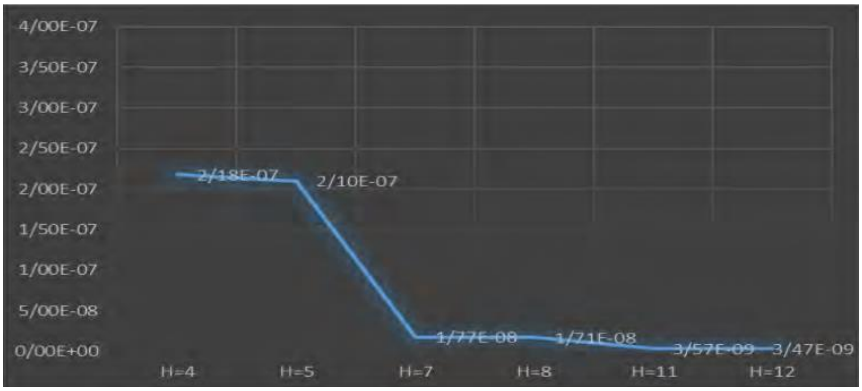
در شکل ۴ مقادیر سرعت شیرابه برای سه PH مختلف محاسبه شده است. با افزایش PH شیرابه از ۵ تا ۹ و یا افزایش ارتفاع، سرعت شیرابه در سطوح مختلف کاهش می یابد. به این معنی که هرچه اسیدی می‌شود، سرعت آن بیشتر است و هرچه سطح شیرابه بیشتر شده است، سرعت آن کمتر است و همچنین مشاهده می‌شود که بعد سوم چه قدر در دقت میزان سرعت شیرابه تاثیر گذار است (باقرزاده خلخالی و همکاران،۱۳۹۷).



شکل۴- تاثیر PH در سرعت شیرابه در CCL=0.06 (باقرزاده خلخالی و همکاران،۱۳۹۷)

۶- اثر سطح شیرابه بر سرعت نفوذپذیری:

با توجه مقایسه مقادیر قبلی برای سطوح مختلف شیرابه، در شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش طول نفوذ، سرعت کاهش می یابد. طبق فرمول دارسی ($V = ki$) سرعت نه تنها بستگی به مقدار نفوذپذیری دارد. بلکه بستگی به گرادیان هیدرولیکی دارد. ($i= \Delta H/L$) علاوه بر این در محل دفن زباله، در مقایسه با سدها، مسیر جریان مایع از نقطه‌ای با انرژی بیشتری به نقطه با انرژی کمتر نیست. و عملا هیچ تفاوتی در سطح پیزومتری وجود ندارد. بنابراین، مقدار ΔH کاهش می‌یابد. بنابراین، با افزایش طول نفوذ i کاهش می‌یابد. در نتیجه با توجه به فرمول دارسی، افزایش طول نفوذ، سرعت شیرابه را کاهش می‌دهد (باقرزاده خلخالی و همکاران،۱۳۹۷).



شکل۵ - تاثیر سطح شیرابه در سرعت نفوذپذیری PH=7 و CCL=0.06 (باقرزاده خلخالی و همکاران،۱۳۹۷)

پس از بررسی‌های صورت گرفته نشان داده شد سرعت نفوذپذیری شیرابه با PH های ۵،۷،۹ در صورتی که ۳،۶ و ۹ درصد وزنی به لایه CCL لندفیل نانو ذرات رسی اضافه گردد، می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از خروجی‌های نرم افزار عددی SEEP 3D مشاهده شد که سرعت نفوذ پذیری شیرابه با افزودن نانو ذرات رسی کاهش می‌یابد. ضمنا هر چقدر تراز شیرابه در حضور نانو ذرات رسی بیشتر شود، یعنی عمق لندفیل زیادتر شود نفوذ پذیری شیرابه تاثیرپذیری بیش‌تری از حضور نانو ذرات دارد. در مجموع این نتیجه حاصل شد که افزودن نانو ذرات رسی به خاک رس در لندفیل اثر مثبتی در جهت حفاظت از خاک زیرین لندفیل و نیز آب‌های زیرزمینی در برابر نفوذ شیرابه دارد (باقرزاده خلخالی و همکاران،۱۳۹۷).

۷- انواع لندفیل‌ها از نظر نوع لاینر و سیستم جمع آوری شیرابه

۷-۱- حداقل مهندسی (همراه تله هیدرولیکی)

حداقل مهندسی شامل لایه غیرقابل نفوذ طبیعی مانند خاک رس طبیعی به همراه سیستم جمع‌آوری شیرابه برای کنترل و جمع‌آوری آن است. لاینر طبیعی یا زمین محل دفن باید طوری باشد که نفوذپذیری کمی را دارا بوده و از فرار مواد آلی و شیرابه به داخل زمین جلوگیری نماید. همچنین باید سطح آب‌های زیرزمینی به حد کافی پایین بوده و سیستم هیدرولوژیکی منطقه طوری باشد که اثرات انتقال آلودگی به خارج از منطقه دفن کمتر شود. این نوع لندفیل شامل لاینر طبیعی(زمین) و سیستم جمع‌آوری شیرابه و وجود حالت تله هیدرولیکی است. در این حالت ارتفاع پیزومتریک لایه آبدار بالاتر از ارتفاع شیرابه (یا کف لندفیل) است و در نتیجه جریان آب از پایین به داخل لندفیل است و این عامل بسیار موثری در جلوگیری از انتقال آلاینده‌ها به داخل زمین است. بدیهی است که وجود سیستم جمع آوری شیرابه در حالت تله هیدرولیکی اجباری است تا از انباشت شیرابه در داخل لندفیل جلوگیری به عمل آید و همواره جریان به داخل لندفیل برقرار باشد.(Barroso etal. 2006).

۷-۲- لاینر رسی متراکم شده به عنوان مانع اولیه و سیستم جمع آوری شیرابه

در این حالت از یک لایه رس متراکم شده به عنوان مانع انتقال آلودگی و لایه‌ای نفوذناپذیر در روی زمین محل دفن استفاده می‌شود و بر روی آن سیستم جمع‌آوری شیرابه احداث می‌گردد. این روش اقتصادی‌ترین حالت برای دفن مواد زائد جامد بی خطر است ولی امکان نشت شیرابه از آن وجود دارد و به همین دلیل در استفاده از آن محدودیت‌هایی توسط سازمان‌های بین‌المللی ذکر شده است.

۷-۳- لاینر رسی متراکم شده و دو سیستم جمع آوری اولیه و ثانویه شیرابه

دراین حالت ابتدا روی زمین طبیعی سیستم جمع‌آوری ثانویه شیرابه را احداث می‌کنند. سپس بر روی آن لایه رس و سپس سیستم جمع‌آوری اولیه شیرابه را احداث می‌کنند. سیستم ثانویه باعث می‌شود که اگر به صورت اتفاق ترک درلایه رس به وجود آمد یا سیستم اولیه قادر به جمع‌آوری شیرابه نبود ازانتقال آلودگی به زمین جلوگیری به‌عمل آید وضریب اطمینان بالا رود.

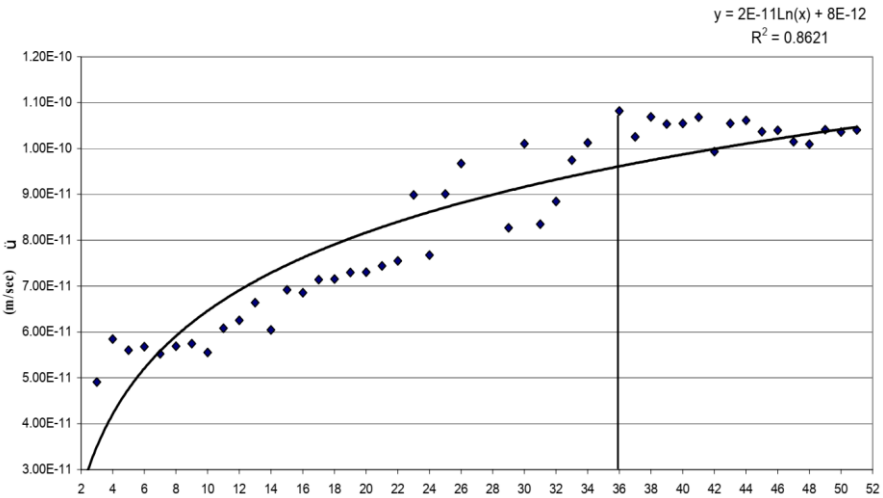
۷-۴- لاینر رس متراکم شده و سیستم جمع آوری شیرابه اولیه و لایه کنترل هیدرولیکی

هیدرولیک دراین طراحی نقش سیستم اضطراری را بازی می‌کند ومی‌تواند درموارد زیرمورد استفاده قرارگیرد:

الف)مقدارآلودگی را کنترل می‌کند به این صورت که با تزریق و تخلیه آب به داخل وخارج از این لایه وقتی که میزان آلودگی دراین لایه از میزان تعیین شده تجاوزکند این عمل صورت می‌گیرد .

ب)در مواقعی که سطح آب در خاک اطراف در طول زمان پایین بیاید می‌تواند شرایط تله هیدرولیکی مصنوعی را به وجود آورد.

در شکل ۶ روند تغییرات نفوذپذیری نمونه رسی نسبت به زمان نشان داده شده است. همچنین خط عمودی رسم شده در شکل، مدت زمانی را که طول کشیده است تا نمونه اشباع شود نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است نفوذپذیری در بیشترین حالت خود به مقدار $۱/۱*۱۰^{-۱۰}$ متر بر ثانیه رسیده است که از مقدار استاندارد $۱*۱۰^{-۹}$ متر بر ثانیه کمتر است (عبدلی و جلیلی قاضی زاده، ۱۳۸۸).



شکل ۶ - تغییرات نفوذپذیری نمونه نسبت به زمان (عبدلی و جلیلی قاضی زاده، ۱۳۸۸)

۷-۵- سیستم‌های جمع کننده اولیه و ثانویه شیرابه همراه لاینر مرکب

دراین حالت روی لایه رس متراکم‌شده لایه‌های ژئوممبرین کشیده می‌شود. معمولا این حالت مطلوب بوده وسازمان‌های بین‌الملل استفاده ازژئوممبرین را تاکید می‌کنند. دراین حالت ساختن شبکه دوم جمع‌آوری بیشتر برای لندفیل‌هایی است که پسماندهای ریخته شده درآنها خطرزا است وحفظ آبریز زمین منطقه بسیار پراهمیت است. آنچه دراجرای این‌گونه لاینرها حائزاهمیت است این است که باید به هنگام عملیات ساختمان برروی ژئوممبرین کاملا مراقب بوده ودقت کرد که آسیب برآن وارد نیاید.

۷-۶- سیستم جمع آوری اولیه شیرابه همراه لاینر رسی متراکم شده و لایه کنترل هیدرولیکی و لایه رسی متراکم ثانویه

دراین حالت جهت اطمینان از ممانعت در برابرانتقال آلودگی از لایه رس متراکم استفاده می‌شود. دراین‌حالت لایه کنترل هیدرولیک به عنوان کمک برای جلوگیری ازنفوذ آلودگی به‌کارگرفته می‌شود و بنا به نیاز زمان وشرایط موجود می‌تواند به حالت فعال یاغیرفعال باشد.

۷-۷- سیستم جمع‌آوری اولیه و ثانویه شیرابه و لاینر رسی متراکم شده اولیه و ثانویه

دراین حالت سیستم جمع‌آوری ثانویه شیرابه دربین دو لاینررس متراکم شده قرارمی‌گیرد و شیرابه جمع‌آوری شده در آن به طورمداوم پمپ می‌شود. ازاین حالت معمولا در جایی استفاده می‌شود که امکان‌دسترس به ژئوممبرین کم است.

۷-۸- سیستم جمع‌آوری اولیه شیرابه، لاینر رسی متراکم شده، لایه کنترل هیدرولیکی و لایه ثانویه مرکب

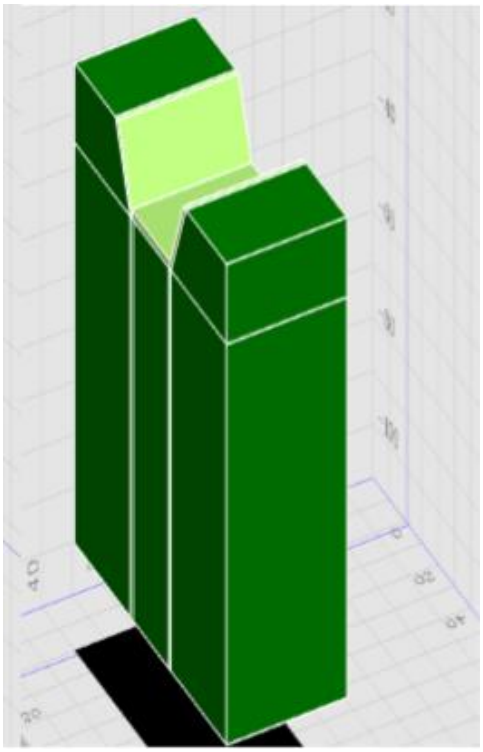
با این تفاوت که دراین حالت از ژئوممبرین به عنوان قسمتی از لاینر ثانویه برای کاهش اتلاف آب از لایه کنترل هیدرولیک به لایه آبدار و درنتیجه به حداقل رساندن مقدارآب مورد نیاز برای ایجاد و نگه‌داری شرایط هیدرولیک است.

۷-۹- سیستم‌های جمع کننده اولیه و ثانویه شیرابه و لاینرهای مرکب اولیه و ثانویه

دراین‌حالت هردو لاینر اولیه و ثانویه به صورت متراکم همراه با ژئوممبرین می‌باشند. دراین حالت لایه جمع‌کننده شیرابه ثانویه باید به طور مداوم پمپ شود.

۸- مطالعات نرم افزاری و مدل سازی سه بعدی جهت بررسی لاینر رسی لندفیل

3D نرم‌افزاری مبتنی بر روش المان محدود می‌باشد که برای مدل‌سازی تراوش و توزیع فشار آب منفذی در محیط‌های متخلخل و سنگ تهیه شده است. در این نرم‌افزار فرمول بندی‌ها طوری انجام شده که هم برای مسائل ساده و هم در مسائل بسیار پیچیده تراوش مورد استفاده قرار گیرد .این نرم افزار (شکل ۷) یک نرم افزار تحلیلی جامع می باشد که قادر است جریان را در هر دو حالت اشباع و غیراشباع مدل کند. توانایی این نرم افزار برای مدل کردن جریان در محیط غیراشباع منجر گشته تا شرایط بسیار واقعی‌تر نسبت به سایر نرم افزارها حاصل گردد. در این نرم افزار امکان استفاده از تمام شرایط مرزی ممکن از قبیل هد کل، هد فشار، دبی و هم چنین شرایط خروج آب از مدل در یک مسئله تراوش وجود دارد. با توجه به اینکه این نرم‌افزار توانایی تحلیل غیراشباع را دارا می‌باشد، لذا امکان تعریف تابع نفوذپذیری در این نرم افزار وجود دارد. رابطه ضریب نفوذپذیری در نقاط مختلف نامعلوم می باشند. لذا برنامه از دو سعی و خطا در داخل هم استفاده می‌کند. بدین ترتیب که ابتدا با یک شرایط مرزی مفروض مسئله را حل می‌کند تا جایی که دیگر ضرایب نفوذپذیری در نقاط مختلف مدل تغییر نکند، در این حالت سعی و خطای اول همگرا شده و برنامه با این فرضیات، شرایط مرزی را کنترل می نماید. اگر شرایط مرزی در محل خروج آب از مدل مناسب شده باشد سعی و خطای دوم مسئله دوباره تحلیل می‌شود و این نیز خاتمه می‌یابد. در غیر این صورت با اعمال تغییرات لازم بر روی شرایط مرزی این روند تا حصول همگرایی ادامه می‌یابد (جلیلیان و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل۷ - یک نمونه هندسه سه بعدی طراحی شده جهت بررسی تاثیرات عرض خاک رس موجود در لایه نفوذ ناپذیر لندفیل

۹. نتیجه‌گیری

هرچند وظیفه اصلی یک لاینر جلوگیری از نشت شیرابه به داخل آب های زیرزمینی است، ولی به علت آنکه اغلب محل‌های دفن زباله در ایران فاقد هرگونه سیستم جمع‌آوری شیرابه هستند، لذا بررسی میزان حذف و یا تضعیف آلاینده‌های موجود در شیرابه ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرف دیگر از آنجا که احداث انواع لاینر بر هزینه‌های محل دفن بهداشتی بسیار موثر است، لذا انتخاب صحیح و مبتنی بر دانش و قضاوت مهندسی لاینر، جهت کنترل نفوذ آلاینده‌های شیرابه در بهینه کردن هزینه‌ها بسیار موثر است. در حال حاضر استفاده از لاینرهای خاکی به دلیل وجود مصالح مناسب در محل‌های دفن در ایران و همچنین هزینه‌ی کمتر نسبت به سایر لاینرها، می‌تواند گزینه قابل قبولی باشد. ویژگی‌های مکانیکی و نفوذپذیری خاک رس بستگی به چندین پارامتر موثردر یکدیگر دارد. درصد ماده بلوری نشده بی‌شکل، کاتیون‌های فروکشیده شده، چگونگی پخش و شکل و قرارگیری دانه‌ها ،ترکیبات کانی، ترکیبات شیمیایی مایع نفوذی، بافت خاک و درجه اشباع از جمله این موارد هستند. از عواملی که بر بافت خاک رس کوبیده شده اثر می‌گذارد، رطوبت خاک هنگام تراکم، روش تراکم و اندازه کلوخه و میزان چفت و بست لایه‌ها را می‌توان نام برد. هم‌چنین افزودن نانو ذرات رسی به خاک رس در لندفیل اثر مثبتی در جهت حفاظت از خاک زیرین لندفیل و نیز آب‌های زیرزمینی در برابر نفوذ شیرابه دارد. از آنجایی که فرآیند انتخاب محل دفن زباله چالش برانگیز است، شناسایی محل‌های دفن مناسب، یک فرآیند پیچیده و چند رشته‌ای است و نیاز به در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی، اکولوژیکی، اجتماعی و مهندسی دارد. در نتیجه استفاده از تکنولوژی روز دنیا و بکارگیری نرم‌افزارهای مناسب و مدل‌سازی‌های عددی جهت طراحی و تعیین محل دفن و مسائل مرتبط با نشت شیرابه و گاز می‌تواند جهت مدیریت بهتر لندفیل‌ها مفید واقع شود.

منابع

۱. احمدیان، چنور؛ ناصر حافظی مقدس و غلامرضا لشکری پور، ۱۳۹۵، **مکانیابی لندفیل جهت دفن پسماندهای جامد شهری با بکارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و روش امتیازدهی رتبهای مطالعه موردی:**

شهرستان شاهیندژ، اولین همایش بین المللی و دومین همایش ملی معماری و شهرسازی هویت گرا، مشهد، موسسه بین المللی معماری، شهرسازی مهراز شهر

۲. باقرزاده خلخالی, احد؛ حسین براغوش و سامان یزدانی، ۱۳۹۷، **تاثیر نانوذرات در کاهش سرعت نفوذپذیری در لندفیل**، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، تهران، دانشگاه صنعتی مراغه با همکاری دانشگاه تبریز - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

۳. جلیلیان, مهنا و احد باقرزاده خلخالی، ۱۳۹۶، **بررسی تاثیرات عرض خاک رس موجود در لایه نفوذ ناپذیر CCL لندفیل جهت کنترل سرعت نفوذ شیرابه به کمک مدل سازی سه بعدی**، پنجمین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۴. محمدعلی عبدلی، مهدی جلیلی قاضی زاده، ۱۳۸۸. **بررسی کارایی لاینرهای رسی متراکم شده در حذف طبیعی آلاینده‌های شیرابه تولیدی در محل دفن زباله‌های شهری (مطالعه موردی : محل دفن کهریزک)**. علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره یازدهم، شماره یک، بهار۸۸

5. Badv, K., and Farsimadan, R. (2009). "Swelling and diffusion characteristics of the experimental GCLs", Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 33, No. B1, pp. 15-30.

6. Benson, C. H., Zhai, H., & Wang, X. (1994). Estimating hydraulic conductivity of compacted clay liners. Journal of geotechnical engineering, 120(2), 366-387.

7. Barroso, M., and Foltz, N.T., Foltz, N.T., and Maubeuge, K.V., and Pierson, P. (2006). “Laboratory investigation of flow rate through composite liners consisting of a geomembrane,a GCL and a soil liner” Geotextiles and Geomembranes, Vol. 24, pp. 139-155.

8. Danial, D.E. (1993). "Clay liners", Geotechnical Practice for waste Disposal, chapman and Hall, pp.137-163.

9. Firoozfar, A. and Khosroshiri, N., 2017. Kerman clay improvement by lime and bentonite to be used as materials of landfill liner. Geotechnical and Geological Engineering, 35(2), pp.559-571.

10. Jones, R. M., Murray, E. J., Rix, D. W., & Humphrey, R. D. (1995). Selection of clays for uses as landfill liners. In Symposium GREEN'93-Geotechnics related to the environment (pp. 433-438).

11. Rad, N. S. (1994). Compatibility of geosynthetic clay liners with organic and inorganic permeants. In Proc. 5th Int. Conf. Geotextiles, Geomembranes, and Related Products. IGS, South East Asian Chapter.

12. Shakelford, D.C., Benson, C.H., Kutsumi. T., and Edil, B.T. (2000). “Evaluating the hydraulic Conductivity of GCls Permeated Whit Non.Sstandard Liquids” Journal of Geotextiles and Geomembranes, No. 18, pp. 133-161.

13. Waste incineration (2010) and African development bank (2002).

14. Wan, Y., Xue, Q., Liu, L. and Wang, S., 2018. Relationship between the shrinkage crack characteristics and the water content gradient of compacted clay liner in a landfill final cover. Soils and Foundations, 58(6), pp.1435-1445.

15. Yucel, G., Savas, K., and Ahmet, H.A. (2008). “Sepiolite as an Alternative Liner Material in Municipal Solid Waste Landfills”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 134, No. 8, pp. 1166-1180.