Original article

Effect of Recycled Polymers application on Bed Soil Quality of Sanitary Landfills and Groundwater Pollution Control

Mostafa Mohammadnejad Araei[1]
Hamidreza Nassehinia[2]
Yousef Dadban Shahamat[3, 4*]
Mohammad Ali Zazouli[5]

1- MSc in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
2- Assistant Professor, Department of Environmental Health, School of Public Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran
3- Assistant Professor, Environmental Health Research Center, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran
4- Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran
5- Professor, Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

***Corresponding author:** Yousef Dadban Shahamat, Environmental Health Research Center, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

Email: dr.udadban@goums.ac.ir

Received: 16 September 2018
Accepted: 21 December 2018

ABSTRACT

Introduction and purpose: One of the important problems in the management of waste is the health and environmental hazards of the leachate leakage of urban waste landfills to groundwater. This research aimed to investigate the improvement of the landfill properties using recycled polymer.

Methods: In this study, PET: Polyethylene Terephthalate and clay were mixed with the ratio of 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 and 1 wt%. Moreover, Moreover, its effect on the quality parameters of clay, including consolidation, settlement, shear stress, adhesion, and infiltration were determined in soil mechanics laboratory located in the city of Gorgan. All experiments were conducted based on American Society for Testing and Materials.

Results: Results showed that the internal friction angle in clay and clay composed with polymer were 20.93 wt% and 30.3 wt%, respectively. Moreover, the compaction of clay decreased from 0.163 g/cm^2 to 0.110 g/cm^2. Permeability results showed that the use of PET decreased the permeability of soil from 1.82 E-3cm/min to 1.57 E-3cm/min.

Conclusion: The use of recycled polymer can improve the soil conditions of landfills in terms of permeability and resistance to leaching, which could reduce the volume and the recycling process of waste. Moreover, this issue contribute to the quality and strength of the substrate to prevent environmental contamination as well as groundwater polution.

Keywords: Clay, Landfill, Polymer, Recycled, Solid waste, Water pollution

▶ **Citation:** Mohammadnejad Araei M, Nassehinia H, Dadban Shahamat Y, Zazouli MA. Effect of Recycled Polymers application on Bed Soil Quality of Sanitary Landfills and Groundwater Pollution Control. Journal of Health Research in Community. Autumn 2018;4(3): 68-78.

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر کاربرد پلیمرهای بازیافتی بر کیفیت خاک بستر محل‌های بهداشتی و کنترل آلودگی آب‌های زیرزمینی

مصطفی محمدنژاد آرائی[1]
حمیدرضا ناصحی‌نیا[2]
یوسف دادبان شهامت[3،4،*]
محمد علی زززولی[5]

۱. کارشناس ارشد عمران، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، ایران
۲. استادیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، دامغان، ایران
۳. استادیار، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران
۴. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران
۵. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی و دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

* نویسنده مسئول: یوسف دادبان شهامت، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

Email:dr.udadban@goums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۳۰

چکیده

مقدمه و هدف: خطرات بهداشتی و زیست محیطی ناشی از نشت شیرابه محل‌های دفن بهداشتی زباله‌های شهری به آب‌های زیرزمینی یکی از موارد مهم در مدیریت پسماند می‌باشد. در این پژوهش بهبود مشخصات بستر لندفیل با استفاده از پلیمر بازیافتی از زباله بررسی شده است.

روش کار: در این پژوهش پلیمر پلی‌اتیلن ترفتالات (PET: Polyethylene Terephthalate) و خاک رس با نسبت‌های ۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ و ۱ درصد وزنی مخلوط گردید و تأثیر آن بر پارامترهای کیفی خاک رس مانند تحکیم، نشست، تنش برشی، چسبندگی و نفوذپذیری در آزمایشگاه مکانیک خاک براساس روش استاندارد انجمن آزمایش و مواد آمریکا سنجیده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که با افزایش پلیمر در شرایط بهینه ۰/۳ درصد وزنی، زاویه اصطکاک داخلی از ۲۰/۹۳ به ۳۰/۳ درجه و میزان چسبندگی از ۰/۱۵۸ به ۰/۱۶۳ کیلوگرم بر متر مربع خواهد رسید. از سوی دیگر، تراکم خاک از ۱/۶۸۹ به ۱/۶۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ضریب فشردگی از ۰/۱۶۳ به ۰/۱۱۰ و ضریب نفوذپذیری از ۰/۰۰۱۸ به ۰/۰۰۱۵ سانتی‌متر بر دقیقه کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان دادند که کاربرد این پلیمر بازیافتی می‌تواند سبب بهبود شرایط خاک بستر لندفیل‌ها به لحاظ نفوذپذیری شیرابه و مقاومت در برابر ترک‌خوردن گردد که هم سبب کاهش حجم زباله‌های تجزیه‌ناپذیر PET و بازیافت آن خواهد شد و هم با کمک به کیفیت و استقامت بستر منجر به جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی و در نهایت محیط زیست خواهد شد.

کلمات کلیدی: آلودگی آب، بازیافتی، پلیمر، خاک رس، محل دفن بهداشتی، مواد زائد جامد

◄ **استناد:** محمدنژاد آرائی، مصطفی؛ ناصحی‌نیا، حمیدرضا؛ دادبان شهامت، یوسف؛ زززولی، محمد علی. بررسی تأثیر کاربرد پلیمرهای بازیافتی بر کیفیت خاک بستر محل‌های بهداشتی و کنترل آلودگی آب‌های زیرزمینی. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، پاییز ۱۳۹۷؛۴(۳): ۷۸-۶۸.

مقدمه

خطرات زیست محیطی ناشی از سوء مدیریت مراکز دفن زباله یکی از مشکلات اساسی کشور است. این موضوع به‌ویژه در

استان‌های شمالی و برخی از مراکز بزرگ جمعیتی ابعاد گسترده و پیچیده‌ای پیدا کرده است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک بستر و پوشش نهایی لندفیل‌ها، مقاومت در برابر خوردگی، نشست و نفوذپذیری هیدرولیکی می‌باشد تا از گسترش آلودگی شیرابه به محیط و آب‌های زیرزمینی جلوگیری نماید [۱]. نفوذ و نشت شیرابه از عمده‌ترین دلایل آلودگی خاک و در نتیجه آب‌های زیرزمینی محل‌های دفن زباله به فلزات سنگین و مواد آلی است [۲،۳]. خاک رس طبیعی یکی از مواد اصلی خاک بستر لندفیل‌های بهداشتی به دلیل نفوذپذیری هیدرولیکی اندک آن می‌باشد که البته در برخی از موارد در صورت نبود آن از مواد دیگر مانند ترکیب خاک بنتونیت و ماسه استفاده می‌شود [۴]. به‌طوری که مشخص است، خاک رس با قابلیت ارتجاعی بالا، آب را تا چند برابر وزن خود جذب می‌نماید و در هنگام خشک‌شدن به دلیل عدم پایداری، شکاف‌ها و ترک‌هایی در پیکره آن ایجاد می‌گردد؛ به‌طوری که از نفوذناپذیری و مقبولیت آن برای استفاده به‌عنوان بستر و پوشش لندفیل می‌کاهد [۵]. به‌طور معمول، برای غلبه بر این مشکل و اصلاح و تسلیح بستر لندفیل‌ها از مواد مختلف دیگری مانند مواد شیل، قیر، روغن‌های سنتتیک درزگیر خاک، غشاها و انواع ژئوتکستایل‌ها استفاده می‌شود [۶،۷].

امروزه تسلیح خاک یکی از شاخه‌های علم ژئوتکنیک است که با اصول علمی و استفاده از تکنولوژی جدید، مواد و مصالح مناسب را در تقویت خاک به کار گرفته و مشخصات مهندسی و خواص مکانیکی آن را بهبود می‌بخشد. عناصری که در تسلیح خاک به کار می‌روند از جنس فلزات، مواد پلیمری و اجزای گیاهان می‌باشند. مکانیسم عمل و رفتار خاک مسلح مبتنی بر اثر متقابل خاک و عنصر مسلح‌کننده بوده و در این رابطه اصطکاک بین خاک و عنصر تسلیح نقش اساسی دارد. یکی از روش‌های تسلیح خاک، اختلاط آن با الیاف به‌صورت درهم و تصادفی (RDFR: Refuse-derived fuel residuals) می‌باشد. در مطالعات مختلف از انواع مواد مانند کمپوست، سیلیس، بنتونیت و انواع خاکسترها برای بهبود خاصیت رس استفاده شده است [۱،۸]. در این روش‌ها محیطی مرکب ایجاد می‌شود که در آن درگیری اجزای کششی (المان تسلیح) با دانه‌های خاک، مقاومت و شکل‌پذیری خاک را بهبود می‌بخشد. اگرچه تسلیح خاک دارای سابقه طولانی می‌باشد؛ اما در نیم قرن گذشته تحقیقات گسترده‌ای پیرامون شناخت و ارزیابی رفتار مکانیکی خاک مسلح با الیاف مورد توجه قرار گرفته است.

ایده خاک مسلح ابتدا در اوایل دهه ۱۹۶۰ توسط Vidal درباره اصول تئوری و روش‌های عملی تسلیح خاک ارائه گردید؛ اما اختلاط خاک با توزیع تصادفی الیاف (RDFR) از اوایل دهه ۱۹۷۰ آغاز شده است. Gray و Al-Refeai (۱۹۸۹) از جمله اولین پژوهشگرانی بودند که با استفاده از آزمایش‌های فشاری سه‌محوری بر روی ماسه با الیاف، خاک مسلح را بررسی نمودند و نشان دادند که افزایش مقاومت متناسب با میزان مسلح‌کننده‌ها می‌باشد [۹].

در این راستا، Maher و Gray (۱۹۹۰) با انجام آزمایش‌های سه‌محوری، مطالعات گسترده‌ای را در ارتباط با نمونه‌های مختلف ماسه که به روش تصادفی با الیاف پلی‌پروپیلنی مسلح شده بودند، انجام دادند [۱۰]. همچنین، در پژوهشی Elshorbagy و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که اختلاط ۶۰ درصد کمپوست با ۴۰ درصد از خاک محل لندفیل می‌تواند هدایت هیدرولیکی را تا میزان ۹-۱۰×۴-۶ متر بر ثانیه کاهش دهد [۱]. Benson و Khire (۱۹۹۴) نیز با انجام آزمایش‌های برش مستقیم و CBR (California Bearing Ratio) به مطالعه در مورد تسلیح خاک با استفاده از نوارهای پلی‌اتیلن پرداختند [۱۱]. در این راستا، نتایج مطالعات Ranjan و همکاران (۱۹۹۶) در مورد نمونه‌های مسلح‌شده با الیاف توسط آزمایش‌های سه‌محوری، پژوهش Wang و Frost (۲۰۰۰) با استفاده از آزمایش‌های تک‌محوری و سه‌محوری در مورد رفتار مکانیکی خاک‌های ماسه‌ای و رس‌دار

مسلح و آزمایش‌های برش مستقیم و سه‌محوری Santoni و Webster (۲۰۰۱) در مورد خاک ماسه‌ای مسلح حاکی از آن بودند که نمونه‌های مسلح‌شده، شکل‌پذیری بیشتری نسبت به نمونه‌های غیرمسلح دارند و با افزایش الیاف در خاک، مقاومت برشی افزایش می‌یابد [۱۲،۱۳]. از سوی دیگر، Michalowski و Zhao (۱۹۹۶) براساس مطالعات آزمایشگاهی و بررسی‌های تئوریک، معیاری برای گسیختگی ماسه مسلح‌شده با الیاف فولادی و پلی‌آمید را ارائه نمودند [۱۴]. براساس این نتایج، تسلیح خاک موجب افزایش مقاومت فشاری و برش خاک، بهبود پاسخ توده خاک نسبت به بارهای دینامیکی، افزایش مدول برشی دینامیکی خاک، کاهش پتانسیل روان‌گرایی و افزایش شکل‌پذیری خاک می‌گردد. با توجه به موارد بیان‌شده، در پژوهش حاضر مشخصات کیفی خاک رس لندفیل از جمله تحکیم، نشست، تنش برشی، چسبندگی و نفوذپذیری با ترکیب با درصدهای مختلف پلیمر PET که موجود در زباله می‌باشد، بررسی گردید.

روش کار

مراحل انجام پژوهش

در این مطالعه از خاک رس محل لندفیل آق‌قلا واقع در استان گلستان استفاده شد. برای پلیمر مورد استفاده در پژوهش نیز از ذرات آسیاب‌شده پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) که از محصولات کارخانه بازیافت با اندازه‌های ۲ تا ۱۰ میلی‌متری دارای دانسیته ۱/۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بودند، استفاده گردید.

در ادامه، پلیمر PET و خاک رس با نسبت‌های ۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ و ۱ درصد وزنی مخلوط گردیدند و تأثیر آن‌ها بر پارامترهای کیفی آن در آزمایشگاه معتمد مکانیک خاک واقع در شهرستان گرگان تعیین شد.

برای آماده‌سازی و تسلیح خاک، ابتدا نمونه خاک رس در دمای ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و پس از آماده‌سازی، ذرات به وسیله کوبیدن از یکدیگر جداسازی می‌گردند. برای آماده‌سازی پلیمر PET، ابتدا این پلیمر بر روی الک #N.O200 شست و شو داده می‌شود تا ذرات چسبیده به آن از پلیمر جدا گردد. سپس پلیمر درون آب ریخته می‌شود. از آنجایی که وزن مخصوص پلیمر از وزن مخصوص آب بیشتر است، ذرات مخلوط با پلیمر در سطح آب شناور می‌شوند و پلیمر در ته ظرف ته‌نشین شده و آماده اختلاط با رس می‌گردد.

تعیین مشخصات مکانیکی خاک

در این مطالعه به‌منظور تعیین مشخصات کیفی خاک بستر لندفیل بهداشتی، قبل و بعد از تسلیح با پلیمر PET از آزمایش‌های زیر استفاده شد. لازم به ذکر است که کلیه آزمایش‌های مکانیکی خاک براساس روش استاندارد انجمن آزمایش و مواد آمریکا (ASTM: American Society for Testing and Materials) انجام شدند. بدین‌صورت که برای بررسی تأثیر تسلیح در رفتار خاک از آزمایش برش مستقیم، آزمایش تحکیم و آزمایش نفوذپذیری به‌ترتیب براساس استانداردهای ASTMD-3080، ASTMD-2435 و ASTMD-2434 استفاده گردید.

آزمایش برش مستقیم

این آزمایش مطابق با استاندارد ASTMD-3080 به روش سه نقطه‌ای و به‌منظور دستیابی به مقاومت برشی خاک انجام می‌شود. بدین‌صورت که با استفاده از اطلاعات آزمایش، تراکم نمونه ریمولد در کاتر ۲×۶×۶ تهیه می‌گردد و بارهای قائم ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم برای نمونه‌ها وارد می‌شود. با رسم نمودار تنش برشی به تنش نرمال، سه نقطه به‌دست می‌آید که با استفاده از آن‌ها بهترین خط برازش‌شده رسم می‌گردد که در آن مقدار عرض از مبدأ، چسبندگی خاک و زاویه خط با محور افق، میزان زاویه اصطکاک داخلی خاک را نشان می‌دهد [۱۵].

آزمایش تحکیم

این آزمایش مطابق با استاندارد ASTMD-2435 به‌منظور تعیین میزان نشست انجام شده و در آن با استفاده از اطلاعات آزمایش، تراکم نمونه ریمولد در کاتر تحکیم تهیه می‌گردد. این آزمایش شامل پنج مرحله بارگذاری ۱، ۲، ۴، ۸ و ۱۶ کیلوگرم و دو مرحله باربرداری بوده و در آن سه متغیر ضرایب Cc، Cs و Pc اندازه‌گیری می‌شود [۱۵].

آزمایش تعیین ضریب نفوذپذیری

این آزمایش به‌منظور تعیین ضریب نفوذپذیری (K) خاک نسبت به آب و شیرابه انجام می‌شود که در پژوهش حاضر به دلیل ریزدانه‌بودن آن از آزمایش بار نزولی استفاده گردید [۱۵].

یافته‌ها

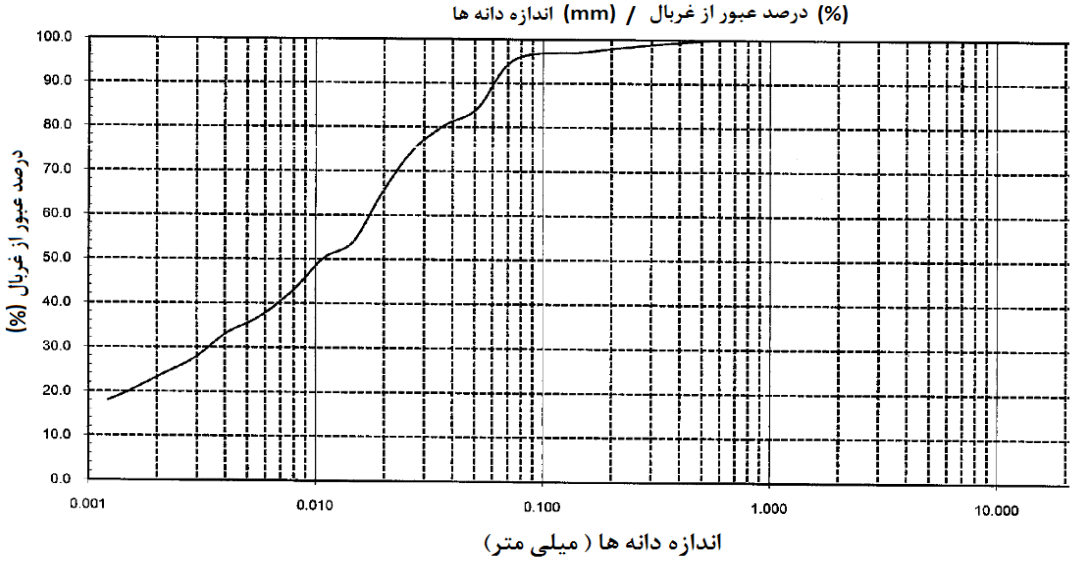
تعیین مشخصات خاک رس بستر لندفیل

این خاک دارای حد خمیری ۱۶/۳۸، حد روانی ۲۸/۶۵، نشانه خمیری ۱۲/۲۶ و چگالی دانه‌های ۲/۷ است و در رده خاک‌های CL (Clay loam) قرار می‌گیرد. منحنی دانه‌بندی خاک و حدود اتربرگ خاک در شکل ۱ نشان داده شده است.

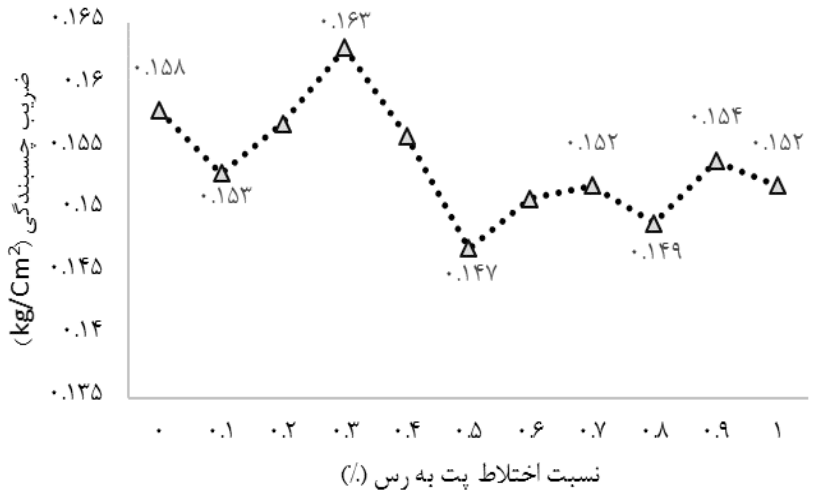
در پژوهش حاضر تأثیر پارامتر درصد پلیمر PET در خاک رس بر مشخصه‌های مقاومت برشی، نشست و نفوذپذیری خاک مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه، نتایج به‌دست‌آمده به تفکیک پارامترهای مؤثر به شرح زیر ارائه می‌گردد.

تأثیر اختلاط پلیمر بر مقاومت خاک بستر لندفیل

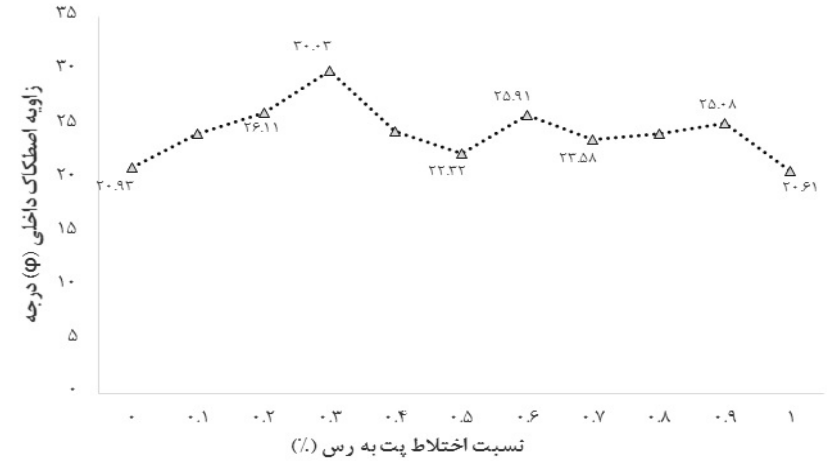
به‌منظور مطالعه پارامترهای مقاومت برشی خاک مسلح از برش گسیختگی بهره گرفته شد که با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های برش مستقیم می‌توان آن را رسم کرد. نتایج تغییرات میزان ضریب چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک مسلح در درصدهای مختلف وزنی پلیمر به خاک رس در نمودارهای (به‌ترتیب) ۲ و ۳ نشان داده شده است. بررسی این نمودارها گویای آن هستند که میزان چسبندگی (C) از ۰/۱۵۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برای نمونه مسلح‌نشده به ۰/۱۶۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع



شکل ۱: نمودار دانه‌بندی خاک رس



نمودار ۲: نمودار چسبندگی (C) خاک در درصدهای مختلف وزنی پلیمر

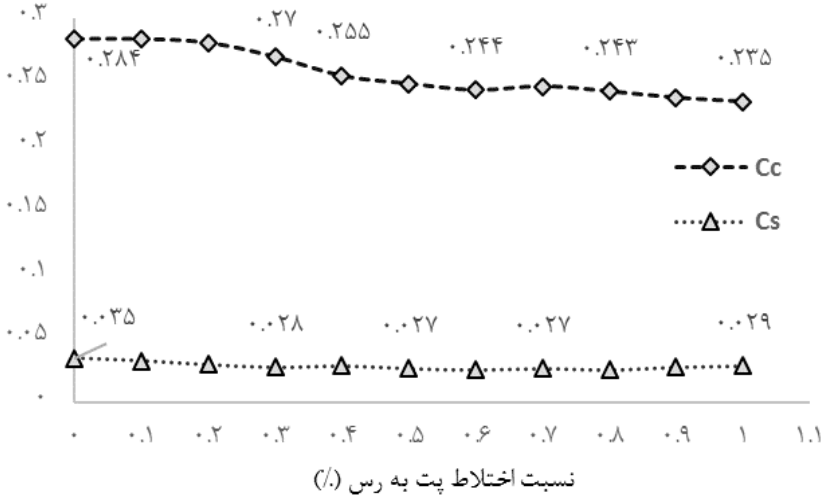


نمودار ۳: زاویه اصطکاک داخلی (فیϕ) خاک در درصدهای مختلف وزنی پلیمر

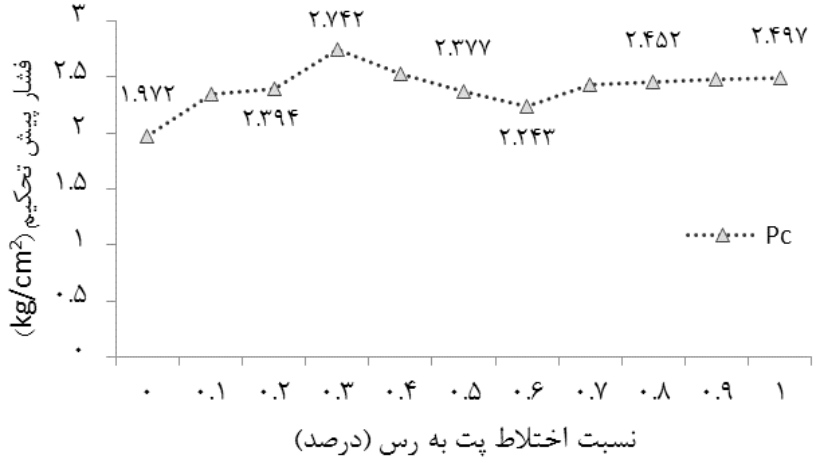
و همچنین زاویه اصطکاک داخلی از ۲۰/۹۳ درجه برای نمونه مسلح‌نشده به ۳۰/۳ درجه در بیشترین حالت خود رسیده است.

تأثیر اختلاط پلیمر بر نشست خاک بستر لندفیل

به‌منظور بررسی نشست خاک به سه پارامتر ضریب فشردگی، ضریب تورم و فشار پیش‌تحکیم نیاز می‌باشد که با استفاده از آزمایش تحکیم به‌دست می‌آیند. متناظر با این پارامترها، ضرایب Cc، Cs و Pc در نمودارهای (به‌ترتیب) ۴ و ۵ در درصدهای مختلف وزنی پلیمر نشان داده شده‌اند. بررسی این نمودارها گویای آن هستند که در اختلاط وزنی ۰/۳ درصد پلیمر به خاک رس، ضریب فشردگی از ۰/۲۸۴ برای نمونه مسلح‌نشده به ۰/۲۷۰، ضریب تورم از ۰/۰۳۵ برای نمونه مسلح‌نشده به ۰/۰۲۸



نمودار ۴: ضریب فشردگی خاک (Cc) و ضریب تورم خاک (Cs) در درصدهای مختلف وزنی پلیمر



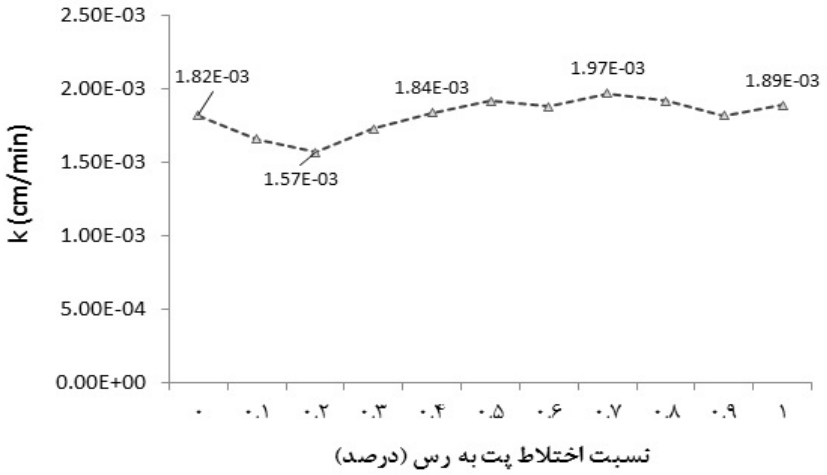
نمودار ۵: نمودار فشار پیش‌تحکیم خاک در درصدهای مختلف وزنی پلیمر

و فشار پیش‌تحکیم از ۱/۹۲۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برای نمونه مسلح‌نشده به ۲/۷۴۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در بیشترین حالت خود رسیده است.

تأثیر اختلاط پلیمر بر نفوذپذیری خاک بستر لندفیل

در این پژوهش به دلیل ریزدانه‌بودن خاک و مصالح مصرفی از آزمایش بار نزولی استفاده گردید. میزان تغییرات ضریب نفوذپذیری (K) در درصدهای مختلف وزنی پلیمر در خاک رس در نمودار ۶ نشان داده شده است.

نتایج آزمایش تعیین نفوذپذیری با استفاده از بار ثابت که در ادامه به آن اشاره شده است، نشان می‌دهد که میزان نفوذپذیری برای خاک رس تنها از ۰/۰۰۱۸۲ به ۰/۰۰۱۵۷ سانتی‌متر بر



نمودار ۶: نمودار نفوذپذیری تحکیم خاک (k) در درصدهای مختلف وزنی رس و پلیمر

دقیقه در درصد اختلاط ۰/۲ رسیده است که نشان از کاهش نفوذپذیری خاک و به دنبال آن کاهش نفوذ شیرابه‌ها در زمان استفاده از پلیمر در بستر لندفیل‌ها دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی مقاومت خاک بستر لندفیل

یکی از پارامترهای دخیل در مقاومت برشی، چسبندگی می‌باشد. این پارامتر را می‌توان دلیلی بر وجود نیروی جاذبه بین ذرات خاک دانست. با توجه به نمودار چسبندگی، حضور پلیمر در خاک رس سبب تغییر چندانی در چسبندگی خاک رس نگردیده است؛ اما تا حدودی موجب بهبود آن گشته است؛ این پارامتر از ۰/۱۵۸ کیلوگرم بر متر مربع برای نمونه مسلح‌نشده به ۰/۱۶۳ کیلوگرم بر متر مربع در بالاترین حد خود در درصد وزنی ۰/۳ درصد پلیمر به خاک رس گشته است.

یکی از مشکلات خاک رس، عدم مقاومت در مقابل اجرا در سطوح شیب‌دار است. این خاک پس از اجرا دچار ترک شده و این امر منجر به نفوذ شیرابه‌ها در لندفیل می‌گردد. این افزایش در زاویه اصطکاک داخلی سبب کاهش ضریب اطمینان در اجرای سطوح شیب‌دار در لندفیل‌ها می‌شود. افزایش مقاومت فشاری که نتیجه بالارفتن زاویه اصطکاک داخلی خاک است باعث اجرای راحت‌تر و مطمئن‌تر سطوح شیب‌دار در لندفیل می‌گردد [۱۶].

همان‌طور که نتایج تغییرات میزان زاویه اصطکاک داخلی خاک مسلح در درصدهای مختلف وزنی پلیمر به خاک رس نشان می‌دهند، در شرایط بهینه ۰/۳ درصد وزنی پلیمر نسبت به خاک رس، زاویه اصطکاک داخلی از ۲۰/۹۳ درجه برای نمونه مسلح‌نشده با افزایش ۴۴ درصدی به ۳۰/۳ درجه رسیده است. البته نتایج نشان داده‌اند که با ادامه افزایش درصد پلیمر، این مقدار کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، این میزان افزایش را می‌توان نشان‌دهنده پتانسیل تأثیر تسلیح خاک در بهبود مقاومت برش آن دانست و بهترین درصد وزنی برای تسلیح خاک را ۰/۳ درصد در نظر گرفت. در این راستا، در پژوهشی که توسط Ouria و Zardari (۱۳۹۶) در مورد تأثیر الیاف پلیمری شیشه‌ای بر مقاومت برشی خاک انجام شد، افزودن مقدار درصد وزنی بهینه ۰/۴ درصدی الیاف سبب بهبود و افزایش چسبندگی و مقاومت برشی خاک ماسه‌ای سیلت‌دار به میزان به‌ترتیب ۴۰ درصد معادل ۱۰۱ واحد

و ۳۰ درصد معادل ۴۱ درجه شده بود. در این پژوهش با افزایش درصد وزنی الیاف در بالاتر از حد بهینه، مقادیر فوق روند کاهشی را در پیش گرفته بودند [۱۷]. علاوه‌براین، در پژوهشی که برای افزایش مقاومت برشی خاک توسط الیاف پلیمر ضایعات لاستیک انجام شده بود، مقادیر قدرت برشی با افزایش میزان فیبر تایر ماشین تا ۲ درصد افزایش یافته بودند [۱۸].

بررسی نشست خاک بستر لندفیل

هدف از آزمایش تحکیم، تعیین پارامترهای مؤثر در پیش‌بینی شدت نشست و میزان آن در سازه‌های متکی بر خاک‌های رس می‌باشد. معمولاً هنگامی که خاک رس اشباع در بستر لندفیل‌ها تحت بارگذاری قرار می‌گیرد، ابتدا تمام بارگذاری توسط آب حفره‌ای تحمل می‌شود که به آن افزایش فشار آب حفره‌ای می‌گویند. در صورتی که زهکشی انجام شود، به مرور زمان حجم خاک کاهش می‌یابد که به آن تحکیم گفته می‌شود و باعث نشست خاک می‌گردد. به‌طور کلی، نشست خاک با ترک‌های مویی در سطح و عمق خاک همراه می‌باشد که وجود این ترک‌ها باعث بالارفتن ضریب نفوذپذیری در لایه خاک اجراشده در لندفیل‌ها می‌گردد؛ بنابراین کاهش ترک‌ها با پایین‌آوردن تحکیم خاک رس به‌طور غیرمستقیم منجر به کاهش ضریب نفوذپذیری بستر لندفیل می‌شود. بررسی نتایج نشان می‌دهند که در اختلاط وزنی ۰/۳ درصد پلیمر به خاک رس، ضریب فشردگی از ۰/۲۸۴ برای نمونه مسلح‌نشده به ۰/۲۷۰، ضریب تورم از ۰/۰۳۵ برای نمونه مسلح‌نشده به ۰/۰۲۸ و فشار پیش‌تحکیم در شرایط بهینه ۰/۳ درصد وزنی پلیمر از ۱/۹۲۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برای نمونه مسلح‌نشده به ۲/۷۴۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع رسیده است. این میزان کاهش ضریب فشردگی و افزایش فشار پیش‌تحکیم را می‌توان نشان‌دهنده پتانسیل تأثیر تسلیح خاک در بهبود مقاومت خاک در برابر نشست دانست [۱۹]. بدین‌معنا که این خاک، این میزان فشار بار ناشی از وزن زباله را تحمل خواهد کرد و با افزایش میزان بار، نشست شروع خواهد شد که مشکلات بعدی مانند ترک‌خوردن بستر و نشت شیرابه به آب‌های زیرزمینی را به همراه خواهد داشت. در پژوهشی مشابه از Tang و همکاران (۲۰۰۷)، الیاف پلی‌پروپیلن در خاک رس در مقدار وزنی ۰/۴ درصد به کار گرفته شد که بر مبنای نتایج پارامترهای انعطاف‌پذیری، زاویه اصطکاک داخلی و استحکام فشاری خاک افزایش یافته بود [۲۰]. در پژوهش دیگری از Tang و همکاران (۲۰۱۶)، مقاومت کششی خاک چسبنده مسلح‌شده با الیاف پلیمری پلی‌پروپیلن بررسی گردید و این نتیجه حاصل شد که اضافه‌نمودن الیاف سبب افزایش مقاومت کششی و شکل‌پذیری خاک و کاهش ترک در آن‌ها شده است [۲۱].

بررسی نفوذپذیری شیرابه در خاک بستر لندفیل

نفوذپذیری خاک عاملی بسیار مهم برای مطالعه رفتار خاک در هدایت جریان آب می‌باشد. نتایج آزمایش تعیین نفوذپذیری با استفاده از بار ثابت نشان دادند که درصد اختلاط بهینه ۰/۲ درصد پلیمر به خاک رس، میزان نفوذپذیری برای خاک رس غیرمسلح از ۰/۰۰۱۸۲ به ۰/۰۰۱۵۷ سانتی‌متر بر دقیقه در خاک رس مسلح به پلیمر رسیده است. این امر نشان‌دهنده کاهش ۱۶ درصدی نفوذپذیری خاک و به دنبال آن کاهش نفوذ شیرابه‌ها در زمان استفاده از پلیمر در بستر لندفیل‌ها می‌باشد که این مهم در مطالعات مشابه نیز گزارش گردیده است [۱۷،۲۰]. هرچند در پژوهشی که در ارتباط با اصلاح خاک رس توسط الیاف تایرهای فرسوده ماشین صورت گرفته بود، افزایش هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری مشاهده گردید؛ اما هدایت هیدرولیکی و فشار تورم خاک رس با ترکیب الیاف تایر و فوم سیلیس کاهش یافته بود [۲۲]. به‌طور کلی، هدف اصلی پژوهش حاضر کاهش نفوذپذیری خاک رس بستر لندفیل‌های محل دفن زباله بود که این مهم با افزایش پلیمر بازیافتی پلی‌اتیلن ترفتالات به خاک رس حاصل گردید.

به‌طور کلی، نتایج نشان دادند که کاربرد این پلیمر بازیافتی می‌تواند سبب بهبود شرایط خاک بستر لندفیل‌ها به لحاظ کاهش نفوذپذیری، مقاومت به ترک‌خوردگی و برش گردد. این امر سبب کاهش حجم زباله‌های تجزیه‌ناپذیر PET، بازیافت این زباله‌ها و صرفه اقتصادی به لحاظ عدم نیاز به خرید بسترهای نفوذناپذیر ژئوممبران خواهد شد. علاوه‌براین، با کمک به کیفیت و استقامت بستر لندفیل‌ها سبب جلوگیری از نفوذ شیرابه به آب‌های زیرزمینی و آلودگی آن‌ها خواهد شد و در نهایت حفظ محیط زیست را به دنبال خواهد داشت.

قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح پژوهشی با عنوان "بررسی تأثیر کاربرد پلیمرهای بازیافتی بر ضریب نفوذپذیری، مقاومت برشی و نشست خاک رس در لندفیل" در سال ۱۳۹۳ با کد ۲۶۷۱۳۳ می‌باشد که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی گلستان انجام شده است. بدین‌وسیله نویسندگان از همکاری آن معاونت محترم تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1. Elshorbagy WA, Mohamed AM. Evaluation of using municipal solid waste compost in landfill closure caps in arid areas. Waste Manag 2000; 20(7):499-507.
2. Dadban Shahamat Y, Sangbari N, Zafarzadeh A, Beirami S. Heavy metal contamination in the effluent and sludges of wastewater treatment plant in Gorgan, Iran. J Mazandaran Univ Med Sci 2017; 27(150):158-69 (Persian).
3. Rezaie R, Mlaleki A, Safari M, Ghavami A. Assessment of chemical pollution of groundwater resources in downstream regions of Sanandaj landfill. Sci J Kurdistan Univ Med Sci 2010; 15(3):89-98 (Persian).
4. Kalkan E, Akbulut S. The positive effects of silica fume on the permeability, swelling pressure and compressive strength of natural clay liners. Eng Geol 2004; 73(1):145-56.
5. Kenney TC, Veen WV, Swallow MA, Sungaila MA. Hydraulic conductivity of compacted bentonite-sand mixtures. Can Geotechnical J 1992; 29(3):364-74.
6. Prashanth J, Sivapullaiah P, Sridharan A. Pozzolanic fly ash as a hydraulic barrier in land fills. Eng Geol 2001; 60(1):245-52.
7. Kamon M, Mariappan S, Katsumi T, Inui T, Akai T. Large-scale shear tests on interface shear performance of landfill liner systems. Berlin: Geosynthetics in Civil and Environmental Engineering; 2008. P. 473-8.
8. Tham G, Andreas L, Lagerkvist A. Use of ashes in landfill covers. Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Gällivare, Sweden; 2003.
9. Gray DH, Al-Refeai T. Behavior of fabric-versus fiber-reinforced sand. J Geotech Eng 1986; 112(8):804-20.
10. Maher MH, Gray DH. Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers. J Geotech Eng 1990; 116(11):166177.
11. Benson CH, Khire MV. Reinforcing sand with strips of reclaimed high-density polyethylene. J Geotech Eng 1994; 120(5):838-55.
12. Ranjan G, Vasan R, Charan H. Probabilistic analysis of randomly distributed fiber-reinforced soil. J Geotech Eng 1996; 122(6):419-26.
13. Wang Y, Frost J, Murray J. Utilization of recycled fiber for soil stabilization. California: Proceedings of the Fiber Society Meeting; 2000.
14. Michalowski RL, Zhao A. Failure of fiber-reinforced granular soils. J Geotech Eng 1996; 122(3):226-34.
15. Masad E. Test methods for characterizing aggregate shape, texture, and angularity. Washington, D.C: Transportation Research Board; 2007.
16. Punmia B, Jain AK. Soil mechanics and foundations. New York: Firewall Media; 2005.
17. Ouria A, Zardari S. Effect of the length and content of fibers on the shear strength of randomly distribuated fiber-reinforced soil. J Transport Infrastruct Eng 2017; 3(1):99-110.
18. Naeini SA, Sadjadi SM. Effect of waste polymer materials on shear strength of unsaturated clays. Electron J Geotech Eng 2008; 13:1-12.
19. Kumar A, Walia BS, Bajaj A. Influence of fly ash, lime, and polyester fibers on compaction and strength properties of expansive soil. J Mater Civil Eng 2007;

19(3):242-8.
20. Tang C, Shi B, Gao W, Cai Y, Liu J. Study on effects of sand content on strength of polypropylene fiber reinforced clay soil. Chin J Rock Mech Eng 2007; 26(Suppl 1):2968-73.
21. Tang CS, Wang DY, Cui YJ, Shi B, Li J. Tensile strength of fiber-reinforced soil. J Mater Civil Eng 2016; 28(7):04016031.
22. Kalkan E. Preparation of scrap tire rubber fiber–silica fume mixtures for modification of clayey soils. Appl Clay Sci 2013; 80:117-25.