فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال هشتم، شماره ۲۶، بهار۱۳۹۳

ارزیابی اثرات نانوذرات رسی افزوده شده بر خاک دپوی دفن زباله در کاهش نفوذپذیری و کنترل شیرابه زباله‌های شهرستان بناب

محمد آذرافزا[۱]، ابراهیم اصغری کلجاهی[۲]، محمدرضا مشرفی‌فر

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یزد،M.azarafza@stu.yazd.ac.ir

۲- استادیار زمین‌شناسی مهندسی دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳- استادیار زمین‌شناسی - تکتونیک دانشکده علوم پایه، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۱۲/۲۵ تاریخ تصویب: ۹۲/۱۰/۱۸

چکیده

دفع مواد زائد جامد یکی از معضلات شهرنشینی می‌باشد. دفن آخرین عنصر موظف در سیستم مدیریت مواد زائد جامد و سرنوشت نهایی تمام مواد زایدی است که ارزشی ندارند و باید دور ریخته شوند. دفن بهداشتی روشی مهندسی جهت دفن مواد زاید جامد در زمین، جهت ممانعت از آسیب زدن به محیط زیست می‌باشد. دپوها یا محل‌های دفن زباله، در صورت عدم رعایت اصول مهندسی، بهداشتی و زیست‌محیطی در مراحل انجام دفن و مراقبت‌های بعد از دفن، محل‌هایی با توانایی بسیار بالا در ایجاد آلودگی در محیط زیست، آبهای‌زیرزمینی، آبهای‌سطحی و حتی خاک می‌باشند، که موجب نگرانی مردم و مسئولین هستند. یکی از آلودگی‌های مهم دپو ها، آلوده‌سازی ناشی از حرکت شیرابه و آلوده کردن آبهای‌زیرزمینی می‌باشد. در طراحی و مدیریت این سازه‌ها، کنترل شیرابه، ساختمان بدنه دپوها، مسیرهای زهکش طراحی شده برای دپوها، از عوامل مهم بشمار می‌آید. کنترل و کاهش نفوذپذیری ساختار دپوها از عوامل زیست‌محیطی مهم می‌باشد. برای کاهش نفوذپذیری در بدنه آن‌ها از ژئوممبرین‌ها و لایه‌های رسی و دیگر مواد نفوذناپذیرکننده استفاده می‌کنند.هدف از این تحقیق، بررسی اثرات نانو ذرات رسی افزوده شده بر خاک دپوی دفن زباله، در کاهش نفوذپذیری بدنه دپو دفن زباله، شهرستان بناب در استان آذربایجان شرقی است. نتایج نشان می‌دهد افزودن ۳ تا ۹ درصد نانوذرات رسی باعث کاهش قابل توجهی در نفوذپذیری خاک بدنه دپو می‌گردد، به طوری که مقدار نفوذپذیری خاک از $۳/۲۵\times۱۰^{-۶}$ به $٤/۲۲\times۱۰^{-۷}$ سانتی‌متر بر ثانیه در شرایط معمولی و از $۳/۸٦\times۱۰^{-۶}$ به $۷/۲۰\times۱۰^{-۷}$ سانتی‌متر بر ثانیه در شرایط اسیدی و از $۲/۷٦\times۱۰^{-۶}$ به $۲/۰۲\times۱۰^{-۷}$ سانتی‌متر بر ثانیه در شرایط آلکالی یا بازیک شیرابه می‌رسد. بنابراین، با افزودن مواد رسی و نانوذرات رسی کاهش قابل توجهی در نفوذپذیری بدنه دپو در عبور دادن شیرابه می‌گردد.

واژگان کلیدی: دپوزیت، شیرابه، نفوذپذیری، نانو ذرات رسی، محل‌های دفن زباله

مقدمه

دفن بهداشتی، روشی مهندسی برای دفن مواد زاید جامد درزمین، جهت ممانعت از آسیب زدن به محیط زیست می‌باشد. در این روش زایدات در لایه‌هایی با ضخامت مناسب پخش شده و فشرده می‌شوندو در

انتهای هر روز با خاک پوشانده می‌شوند.

بر اساس تجارب بدست آمده گذشته، در کشورهای پیشرفته، دفن بهداشتی در زمین اغلب به عنوان اقتصادی‌ترین راه حل دراز مدت برای مشکل مواد زاید جامد انتخاب شده است [۵].

امروزه با پیشرف تکنولوژی و افزایش بهره‌گیری از علم ژئوتکنیک در طراحی‌های مهندسی، این علم نیز برای کنترل میزان آسیب‌های زیست محیطی زباله‌ها راه‌کارهای مهندسی ارائه نموده است.

با طراحی و بررسی‌های ژئوتکنیکی، بسیاری از آلودگی‌های حاصل از دفن زباله‌ها کاهش روزافزونی داشته است. دفن زباله در خاک، آخرین عنصر موظف در سیستم مدیریت مواد زاید و سرنوشت نهایی تمام مواد زایدی است که باید دور ریخته شوند.

یکی از راه‌های کنترلی برای اثرات زیست محیطی و بهداشتی و بخصوص جلوگیری از نشت شیرابه در گودالهای دفن زباله، استفاده از پوشش خاک نفوذناپذیر است [٤].

دفن بهداشتی زباله

یک دپوی مهندسی می‌بایستی قادر باشد انتقال خطرات زیست محیطی ناشی از زباله را به محیط اطراف به حداقل مقدار ممکن کاهش دهد. از جمله این خطرات به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱- نفوذ شیرابه زباله به لایه‌های تحتانی محل دفن و آلوده کردن سفره آب زیرزمینی منطقه دفن

۲- پخش زباله‌ها به محیط اطراف دپوزیت توسط باد یا پرندگان، و پخش بوی نامطبوع زباله دراطراف دپو

۳- تولید و انتشار گازهای تولید شده از تجزیه زباله‌ها خصوصا گازهای متان و دی‌اکسیدکربن به محیط اطراف و اتمسفر [٤].

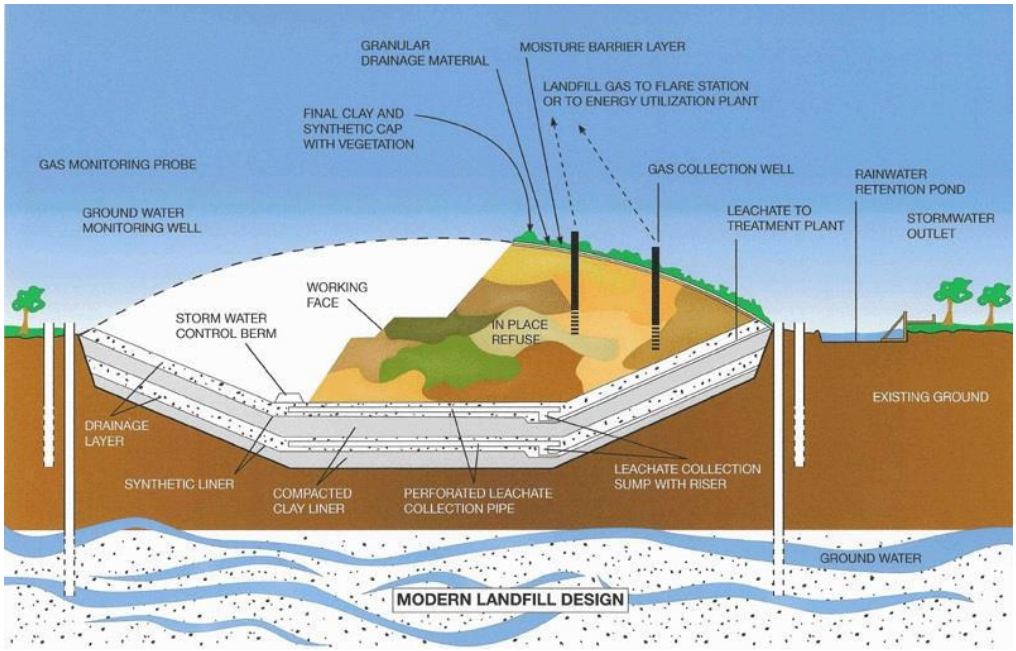
در شکل۱ جزئیات یک دپوی مهندسی بطور شماتیک نشان داده شده است. دپوی زیر، از بالا به پائین شامل لایه‌های زیر است:

- لایه پوشش نهائی
- زباله‌های متراکم شده و مدفون
- لایه شنی زهکش اولیه شیرابه
- یک لایه ژئوتکستایل
- لایه سیلت رسی متراکم شده اولیه
- یک لایه جدا کننده ژئوتکستایل دیگر
- لایه شنی زهکش ثانویه شیرابه
- لایه سیلت رسی متراکم شده ثانویه [۳].

سیستم خاکی بدنه اصلی دپوزیت‌های زباله

خاک مهمترین و گسترده‌ترین صافی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، بازیافت کننده ضایعات و نیز دریافت کننده بسیاری از مواد می‌باشد.

لیکن ظرفیت آن محدود بوده، و ممکن است بسیاری از مواد سمی و آلاینده‌ها که به خاک افزوده می‌گردند از نظر تمرکز افزایش یافته و در نهایت بصورت تهدیدی جدی برای محیط زیست درآیند. عمده‌ترین مشکل محل دفن مواد زاید جامد شهری، شیرابه و گاز تولید شده در اثر تجزیه زباله‌های دارای ترکیبات آلی می‌باشد. مهمترین عامل آلودگی آب در محل دفن مواد زاید جامد، شیرابه است که در تماس با آب‌های سطحی و یا زیرزمینی، مخاطرات بهداشتی



شکل ۱- طرح شماتیک یک دپوزیت مهندسی

وزیست محیطی برای انسان و جانداران ایجاد می‌کند. با طراحی درست ژئوتکنیکی، می‌توان این توان آلوده‌کنندگی دپوها را کاهش داد [۷].

شیرابه به مایعی که از داخل زباله عبور کرده و به بیرون زایدات جامد نشت می‌کند و شامل مواد قابل حل، معلق یا ذرات مخلوطی از اجزای همان زباله باشد، گفته می‌شود که حاصل تغییرات بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی مواد زاید درون دپو می‌باشد، مواد داخل محل دفن از نظر فیزیکی در سه فاز مشاهده می‌گردند: فاز جامد (مانند زباله‌ها)، فاز مایع (مانند شیرابه) و فاز گاز (مانند بیوگاز).

به بیان دیگر، شیرابه مایعی است که توسط مواد آلی یا معدنی محلول یا معلق موجود در فاز جامد محل دفن غنی شده و از داخل زباله به بیرون نشت نماید. زمانی که میزان رطوبت زباله، از ظرفیت صحرایی زباله فراتر رود، رطوبت اضافی به صورت شیرابه آزاد می‌گردد[۵].

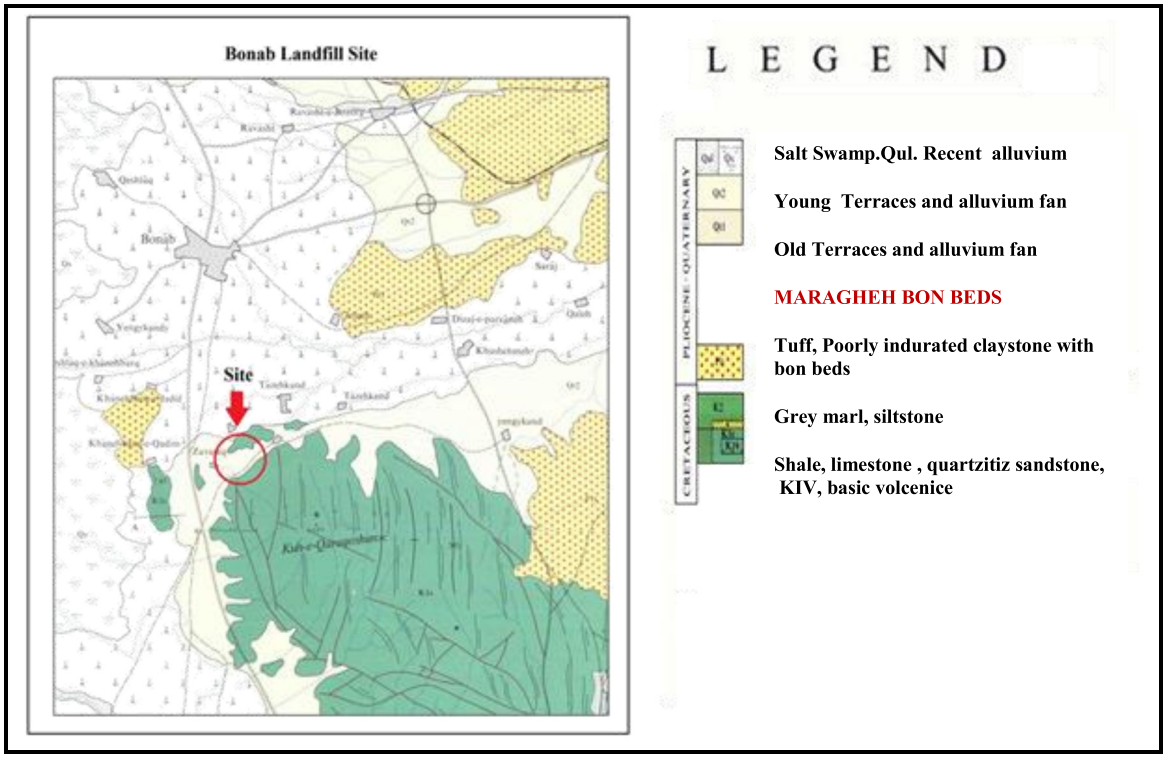
منطقه مورد مطالعه

برای انجام پژوهش حاضر، دپوی دفن زباله‌های شهرستان بناب مورد مطالعه قرار گرفته است.

این شهرستان در جنوب غربی استان آذربایجان شرقی به مختصات ٤٦ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. سرانه تولید زباله در شهر بناب ۸۲۰ گرم برای هر نفر در هر روز می‌باشد.که تولید زباله بسته به فصول مختلف تغییر می‌کند [۳].

دفن زباله‌های بناب به صورت غیربهداشتی و بصورت تلنبار در محلی به مساحت ۱۵ هکتار در ۷ کیلومتری جنوب شهر بناب واقع می‌باشد که از لحاظ

جغرافیایی در دهانه خروجی دره کوهستانی، کوه‌های قره‌قشون صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که روش دفن زباله اکثراً بصورت سنتی و روباز می‌باشد. البته در قسمتی از محل توسعه آن بصورت مهندسی و دفن بهداشتی صورت می‌گیرد. در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه ۱:۱۰۰.۰۰۰ زمین‌شناسی منطقه و محل دپوی دفن زباله [۲].

باتوجه به شکل ۳ می‌توان بیان نمود که محل دفن زباله‌ها بیشتر از رسوبات آبرفتی عهد حاضر پوشانده شده است. محدوده محل دفن زباله‌ها در مسیر حرکت یکی از زهکش‌های منتهی به دریاچه ارومیه می‌باشد. انتخاب این محل به دلیل عدم دانش زمین-شناختی کافی و تنها به خاطر دوری فاصله از شهر انتخاب گردیده است. قرارگیری این دپو در مسیر یکی از زهکش‌های دریاچه ارومیه باعث شستشو و حمل زباله‌ها به سمت دریاچه و متعاقب آن آلودگی آب‌های سطحی و حتی آب خود دریاچه می‌شود [۱]. همانطور که بیان شد، محل دفن زباله‌ها بیشتر از رسوبات آبرفتی عهد حاضر پوشانده شده است. در بخش بالاتر به سمت کوه‌های قره‌قشون سازند K_2 کرتاسه متشکل از مارن‌های خاکستری و سیلتستون همراه با شکستگی‌های ناشی از حرکت گسل بناب و بزرگ گسل تبریز برونزد دارد، همچنین در مسیر زهکش بطرف ارتفاعات قره‌قشون لایه‌های شیلی، سنگ آهک، ماسه‌سنگ‌های کوارتزیتی که پایه آنها آتشفشانی در زیر این سازند نمایان می‌گردد و در بخش پایین دست و بطرف دریاچه ارومیه سازندهای

عهد حاضر و تراس‌های آبرفتی کواترنری که بستر مناسبی برای کشاورزی در منطقه است مشاهده می‌گردد [۲]. باتوجه به اینکه این دپو به دلیل عدم انجام مطالعات کارشناسی در مکان‌یابی محل دپو، در مسیر یک رود فصلی کوچک (زهکش سطحی) به طرف دریاچه ارومیه قرار گرفته شده است. تنها دلیل انتخاب این محل را از سوی مسئولین فاصله داری نسبت به مرکز شهر عنوان شده است [۵]. به هر حال، به دلیل قرارگیری دپو در مسیر زهکش و آبرفتی بودن منطقه، احتمال بالا بودن سطح آب زیرزمینی بسیار بالا بوده و از سوی دیگر سنتی بودن بدنه اولیه دپو، توان آلوده‌سازی محیط بخصوص آب زیرزمینی توسط شیرابه بسیار بالا می‌باشد.

خصوصیات ژئوتکنیکی دپوی دفن زباله

نشت شیرابه از دپوها باعث آلودگی زیست‌محیطی در منطقه و از بین رفتن بافت مفید خاک می‌گردد. این مشکل در صورت وجود آب‌های سطحی و زیرزمینی در محدوده دفن‌گاه، چندین برابر گشته و باعث رشد آلودگی زیست محیطی تا حد بحران می‌گردد. یکی از راه‌های کنترل نفوذ شیرابه به آب‌های سطحی و بخصوص زیرزمینی کاهش میزان تراوش شیرابه با بالا بردن میزان نفوذناپذیری بدنه دپوها می‌باشد. کاربرد مواد ژئوسنتتیکی مثل ژئوممبرین‌ها که توانایی کنترل تراوش شیرابه را دارند، مورد مناسب و مفید است. اما تجربه نشان داده است در دپوها در طولانی مدت و در مواردی که مربوط به زباله‌های ویژه و حساس به نور باشد، این مواد از توانایی لازم برخوردار نیستند. روش دیگری که دراین موارد بسیار مطرح می‌گردد استفاده از پوشش رسی متراکم و تحکیم یافته هستند. رس‌های متراکم و یا رس‌های مختلط شده با خاک بدنه دپو می‌تواند عامل مناسبی در کنترل تراوش شیرابه باشد [٤]. لازم به ذکر می‌باشد، رس‌های بکار برده‌شده در کنترل تراوش شیرابه باید دارای شرایط زیر باشند :

- میزان نفوذپذیری پایین
- توانایی تورم‌پذیری پایین
- مقاومت در برابر وارفتن و ول‌شدن
- استحکام و پایداری و مقاومت برشی بالا [10].

بطور معمول میزان نفوذپذیری برای رس‌های بکار برده شده در دپوها کمتر از $۱۰^{-۷}$ cm/s درنظر گرفته می‌شود. برای دپوهای مربوط به زباله‌های شهری و صنعتی کم خطر ضخامت لایه رسی متراکم ۰/٦ متر توصیه می‌شود. میزان هدایت هیدرولیک از مشخصه‌های مهندسی بارز خاک می‌باشد، زیرا هدایت هیدرولیک نقش به سزایی در زهکشی دپوها و کنترل نفوذپذیری دارد [11].

از خاک بدنه دپوی دفن زباله شهری بناب نمونه برداری شده و آزمایشاتی بر اساس استاندردهای [9]. در راستای بدست آوردن خواص فیزیکی از جمله دانه‌بندی، وزن مخصوص حداکثر خشک، حدود اتربرگ انجام گرفته است. آزمون دانه‌بندی خاک جهت رسم منحنی دانه‌بندی نمونه‌ها اخذ شده از محل محدوده دفن‌گاه، به دو صورت، روش فیزیکی و روش هیدرومتری صورت پذیرفته است. هدف از انجام این آزمایش تعیین دامنه ابعاد و نحوه توزیع ابعاد دانه‌ها و نیز تعیین نوع دانه‌بندی مصالح از نظر کمی و کیفی بوده نمونه‌ها است. نتایج نهایی این آزمایش، به منظور تطبیق توزیع دانه‌ها با مشخصات لازم برای مصالح سنگی و کنترل سنگدانه‌های

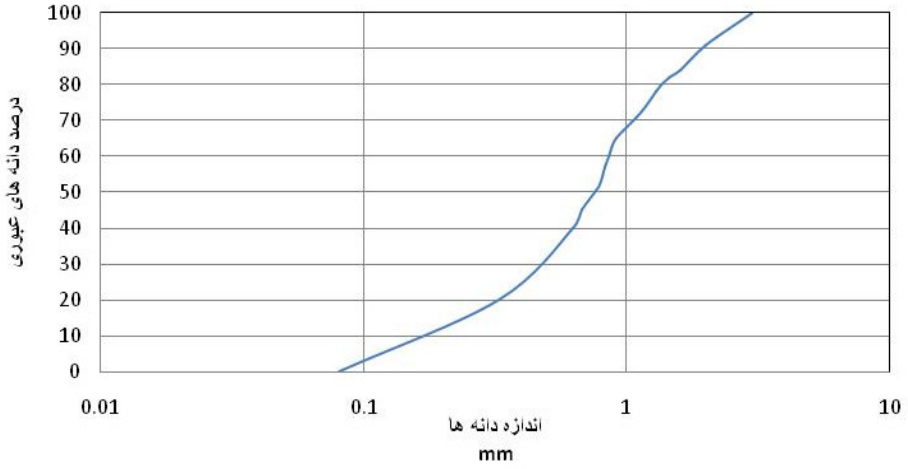
مختلف به کار می‌رود [9]. به هر حال، بعد از اخذ ۹ نمونه از بخش جنوب - غربی دپوی دفن زباله (بخش پایین دست که مسیر جریان آب زیرزمینی به سمت دریاچه ارومیه می‌باشد) که بر اساس مشاهدات صحرایی مسیر احتمالی حرکت شیرابه تولیدی است، اقدام به انجام آزمون دانه‌بندی به منظور تعیین توزیع دانه‌ها گردیده است. منحنی دانه-بندی خاک محل در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نمودار نشان داده شده در شکل می‌توان بیان نمود که بدنه دپو از لحاظ دانه‌بندی، خوب دانه-بندی شده است. همچنین برای تعیین خصوصیات ژئوتکنیکی نمونه‌های برداشت شده از بدنه دپو آزمون تعیین حدود اتربرگی انجام گرفت، نتایج آزمایشات نیز در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است، به دلیل نزدیکی نتایج حاصل برای نمونه‌ها از با دقت مناسبی می‌توان از میانگین شاخص‌های اتربرگی برای مشخص نمودن خصوصیات ژئوتکنیکی خاک استفاده نمود. همچنین، خاک مورد مطالعه بر پایه طبقه‌بندی یونیفاید در رده MH قرار دارد. ترکیبات شیمیایی رس‌ها مورد بررسی توسط دستگاه XRF و روش 2X´Unique آنالیز شده که نتایج آن در شکل ٤ ارائه گردیده است.

جدول۱- حدود اتربرگ و مشخصات فیزیکی بدست آمده بر روی نمونه‌های خاکی محل دپو

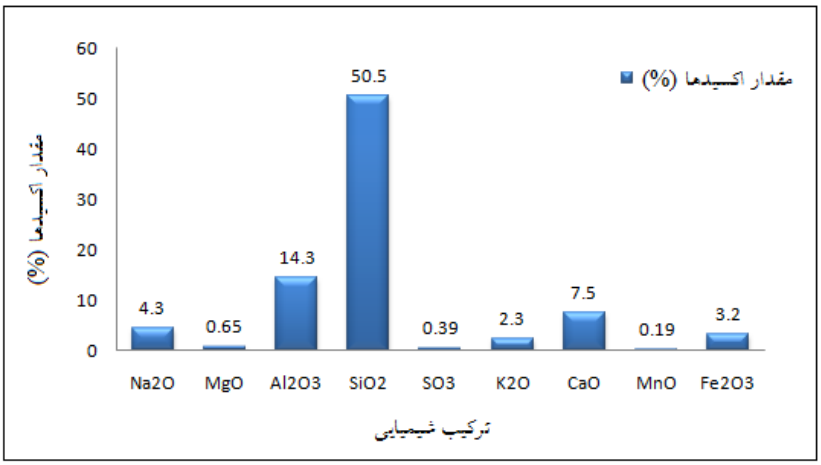
$PI_{ave.}(\%)$	$PL_{ave.}(\%)$	$LL_{ave.}(\%)$
25.1	32.1	57.1

رس‌های متراکم مورد استفاده باید حداقل ٪۳۰ دارای ذرات ریز باشند و میزان گراول مورد استفاده در بدنه ساختار نباید از ٪۱۰ کل مواد تجاوز نماید.

همچنین میزان PI (شاخص خمیری) باید بیش از ٪۸ و کمتر از ٪٤۰-۳۰ برای دست‌یابی به میزان نفوذپذیری کمتر از 10^{-7} cm/s در بدنه باشد[12].



شکل ۳- منحنی دانه‌بندی خاک‌های ریزدانه محل



شکل ٤ – ترکیب شیمیایی نمونه‌های رسی مورد مطالعه توسط XRF

بررسی تاثیر نانو ذرات رسی بر خاصیت خمیری خاک

رس‌ها مواد معدنی طبیعی هستند که ترکیب آنها بر اثر جایگزینی و جذب تغییر می‌کند. با توجه به این که انواع رس‌های موجود در طبیعت بصورت نانو نیز یافت می‌گردد که در بسیاری از زمینه‌های صنعتی کاربرد دارد، اما بیشترین تاثیر در مهندسی ژئوتکنیک از سوی نانو رس‌ها توسط نوع رس مونتموریونیت می‌باشد. رس‌های مونتموریونیت در خاک فراروان می‌باشد. ستون‌های گل روان و سایر پدیده‌های زیست‌محیطی متاثر از این نوع رس می‌باشد که ناشی از ویژگی خاص آن، یعنی تمایل شدید به انبساط و افزایش حجم دارد. نانورس‌ها باتوجه به سطح مخصوص خود دارای توانایی جذب آب بسیار بالایی می‌باشند که این امر باعث می‌شود که در زیر شالوده و پی‌ها و سازه‌های مهندسی و یا در حین حفاری با ایجاد تورم مشکل ساز گردند [12]. از انواع رس بکار رفته در ساختار دپو، قسمت عمده‌ای شامل رس مونتموریونیت با میزان نفوذپذیری کم می‌باشد (APHA, AWWA, WPCF, 1992). نانو ذرات رسی مورد استفاده در این مطالعه MMT/Na^{+} که نتایج توسط شرکت ATP بدست آمده و در جدول ۲ ارائه گردیده است.

نانو ذرات رسی

نانو رس‌ها کانی‌هایی هستند که حداقل یکی از ابعادشان در حد نانومتر باشد. این مواد بدلیل ارزانی و در دسترس بودن، توجه زیادی در زمینه فناوری نانو به خود جلب کرده‌اند، نانورس‌ها سطح ویژه‌ای در حدود ۱۵۰ متر مربع بر گرم دارند. در نانورس‌ها دو خصوصیت مهم وجود دارد که باعث موفقیت آنها در عرصه صنعت های مختلف شده است:

۱- خالص بودن آن که خصوصیات مکانیکی پلیمر را افزایش می‌دهند

۲- ظرفیت تبادلی کاتیونی رس که مخلوط شدن با پلیمر را مناسب می‌کند

هر دو این ویژگی باعث استحکام در پلیمرها می‌شود و بطور همزمان مقاومت بالا و شکل‌پذیری از خود نشان می‌دهند، در واقع خواصی که با هم در یک جا

جمع نمی‌شوند ولی در رس‌ها (نانورس‌ها) وجود دارد. مونتموریونیت به دلیل داشتن خصوصیات تعلیق، انتشار و پراکندگی خوب و قالب‌دار شدن معمولاً بیشتر از دیگر انواع رس‌ها استفاده می شود. مونتموریونیت رایج‌ترین نوع رس برای ساخت نانوکامپوزیت‌ها می‌باشد. با این حال از انواع دیگر رس می‌توان برای ساخت نانوکامپوزیت استفاده کرد. این موضوع بستگی به خصوصیات نهایی مورد نظر از محصول دارد.

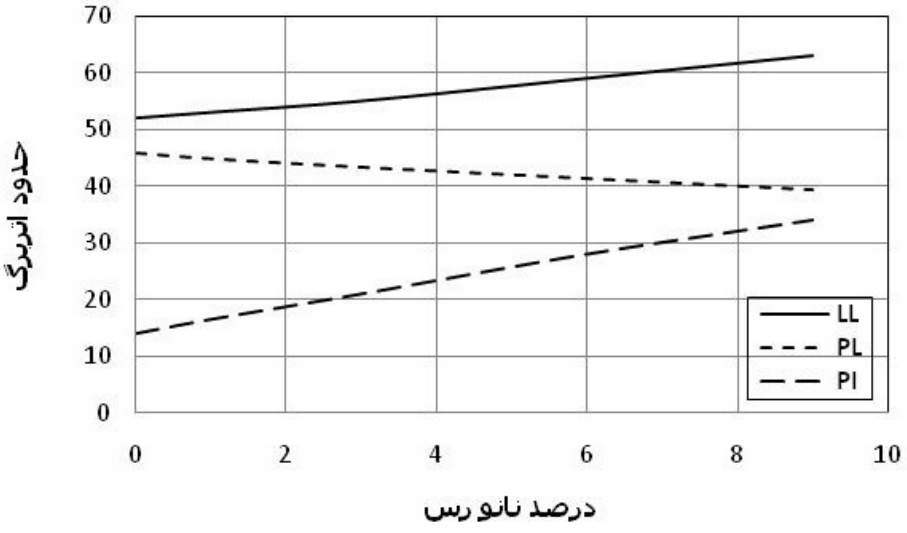
این رس‌ها عبارتنداز هکتوریت‌ها (سیلیکات‌های منیزیمی) که از صفحات بسیار کوچکی تشکیل می‌شود[13].

جدول ۲ – مشخصات نانورس مورد استفاده در این مطالعه (بطور میانگین)

دانسیته (KN/m^3)	رنگ	فاصله بین لایه‌ها (nm)
۱۸/۸۲	سفید مایل به نخودی	۱/۳

اثر نانوذرات رسی بر تغییرات حدود اتربرگ و شاخص خمیری بر روی نمونه‌های اخذ شده از محل دپو در شکل ۵ ارائه شده است.

بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که حد روانی و شاخص خمیری با افزایش میزان نانو ذرات رسی دارای افزایش اندکی می‌باشد.



شکل ۵- اثر نانو ذرات رسی بر حدود حدود اتربرگ

دلیل این افزایش را می‌توان بر میزان سطح مخصوص و قدرت نگهداری آب توسط رس‌ها و مقاومت برشی سطح رس نسبت داد.

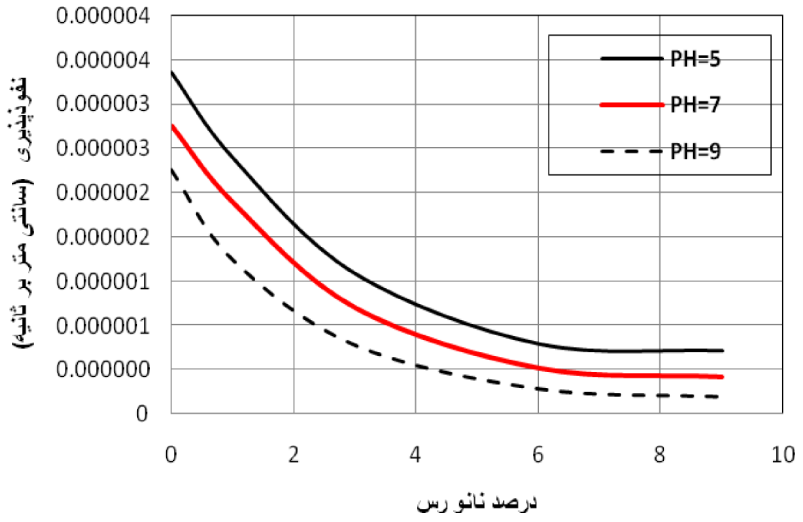
بررسی اثر نانو ذرات رسی بر میزان نفوذپذیری

بر اساس استاندارد ASTM D5084، آزمون نفوذپذیری با بار افتان، در آزمایشگاه بر روی نمونه‌های دانه‌ریز استوانه‌ای شکل به ابعاد (L:6cm, D:10cm, t:2cm) مورد استفاده در این مطالعه انجام شده است. برای انجام آزمایشات مربوطه نمونه‌های برداشت شده ابتدا آماده‌سازی شده و سپس آزمایشات بر روی آن‌ها انجام گردیده است. برپایه آزمون نفوذپذیری با بار افتان، در دو طرف نمونه آماده شده سنگ‌های متخلخل قرار داده شد. سپس نمونه در دستگاه آزمایش قرار داده شد.

در طول این آزمون در زمان t_1 ارتفاع قراعت شده برابر h_1 و در زمان t_2 ارتفاع آب قراعت شده برابر h_2 می‌باشد که میزان نفوذپذیری توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$K = 2.303 \frac{aL}{At} \log \frac{h_1}{h_2} \qquad (1)$$

باید توجه گردد که، میزان K اندازه‌گیری شده در دو بازه زمانی (بطور مثال t_1, t_2) بر نوع سیال متحرک در خاک (جنس و نوع مواد شیرابه) و میزان تخلخل متوسط خاک بستگی بسیار زیادی دارد [9]. در این مطالعه برای نمونه‌های اخذ شده مقادیر نانو ذرات رسی ۳٪، ۶٪، ۹٪ افزوده گردید و به مدت ۴۸ ساعت در آب نگه داشته شده‌اند تا اشباع کامل شوند. بعد از انجام آزمون، با نمونه‌های شیرابه با pH های مختلف (۵، ۷ ، ۹) و عبور از فیلترهای مناسب نتایج بدست آمده در شکل ۶ ارائه گردیده است.



شکل ۶- اثر نانو ذرات رسی بر نفوذپذیری خاک بدنه دپو

با توجه به این شکل می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش میزان نانو ذرات رسی نفوذپذیری در pHهای مختلف، کاهش می‌یابد، بطوری که با افزایش ۳ تا ۹ درصد نانو ذرات رسی، مقدار نفوذپذیری در شرایط معمولی از حدود $۳/۲۵\times۱۰^{-۶}$ به $٤/۲۲\times۱۰^{-۷}$، در شرایط اسیدی از $۳/۸٦\times۱۰^{-۶}$ به $۷/۲۰\times۱۰^{-۷}$ و در شرایط آلکالی یا بازیک شیرابه از $۲/۷٦\times۱۰^{-۶}$ به $۲/۰۲\times۱۰^{-۷}$ سانتی‌متر بر ثانیه می‌رسد. ضمناً میزان کاهش در شیرابه بازیک بیش از شیرابه اسیدی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از بررسی تغییرات میزان نفوذپذیری توسط آزمون‌های مربوطه بر روی نمونه-های اخذ شده از محل دفن زباله‌ها می توان بیان نمود که با افزایش ۳ تا ۹ درصد نانو ذرات رسی، مقدار نفوذپذیری در شرایط معمولی از حدود $۳/۲۵\times۱۰^{-۶}$ به $٤/۲۲\times۱۰^{-۷}$، در شرایط اسیدی از $۳/۸٦\times۱۰^{-۶}$ به $۷/۲۰\times۱۰^{-۷}$ و در شرایط آلکالی یا بازیک شیرابه از $۲/۷٦\times۱۰^{-۶}$ به $۲/۰۲\times۱۰^{-۷}$ سانتی‌متر بر ثانیه می‌رسد.

برپایه مطالعات صورت گرفته، میزان کاهش نفوذپذیری در بدنه دپو برای شیرابه بازیک بیش از شیرابه‌های اسیدی می‌باشد.

خاک مورد مطالعه بر پایه طبقه‌بندی یونیفاید در رده MH قرار دارد.

همچنین، حد روانی و شاخص خمیری نمونه‌های اخذ شده از محل با افزایش میزان نانوذرات رسی دارای افزایش اندکی می‌باشد، که دلیل این افزایش را می‌توان بر میزان سطح مخصوص و قدرت نگهداری آب توسط رس‌ها و مقاومت برشی سطح رس نسبت داد.

نانوذرات رسی بکار برده شده در این مطالعه از نوع مونتموریونیت بوده که بهترین فاکتور برای کاهش نفوذپذیری بدنه دپو می‌باشد.

زیرا این نوع رس نسبت به دیگر اعضای خانواده رس‌ها خصوصیات منحصر به فردی دارد.

منابع

۱- آذرافزا م.، نیکوبخت ش.، مختاری م ح.، مهرنهاد ح.، (۱۳۹۱)، اثرات مخرب خشک شدن دریاچه ارومیه بر تنوع زیستی و ارائه راه‌کارهای حفاظتی، اولین همایش ملی حفاظت از تالاب‌ها و اکوسیستم‌های آبی، همدان، ایران.۲۵-٤۳ص.

۲- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۹۰)، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه مراغه، تهران، ایران.

۳- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان آذربایجان شرقی، (۱۳۸۳)، گزارش سیمای شهرستان بناب، آذربایجان شرقی، ایران.۱۷٦ص.

٤- شرکت مهندسین مشاور خدمات پژوهشی۱٤۱۰، (۱۳۸۹)، طرح جامع مدیریت پسماند شهر بناب، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور. ۱۰۲ص.

۵- عادلی، ز.، (۱۳۸٦)، بررسی ویژگی‌های ژئومورفیک در مکانیابی کاربری‌ها (مطالعه موردی مکانیابی محل دفن زباله‌های شهر بناب)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.۱۹۰ص.

٦- غضبان، ف.، (۱۳۸۸)، زمین شناسی محیط زیست، انتشارات دانشگاه تهران، ٤٤۰ص.

۷- شاه‌علی، ح.، (۱۳۸۵)، مکانیابی محل دفن زباله‌های شهر زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.۱٦۸ص.

8- APHA, AWWA, WPCF (1992) “Standard method for the examination of water and wastewater”, Washington DC.230P.

9- ASTM (2007). “Annual book of ASTM Standards”, West Conshohocken, PA: ASTM International, Vol. 04.08.17P.

10- Brandle, H., (1992) “Mineral liners for hazardous waste containment”, Geotechnique, Vol. 42, 57-65 pp.

11- Chalermyanont, T. and S. Arrykul (2005), “Compacted sand-bentonite mixtures for hydraulic containment liners”, Songklanakarin J. Sci. Technol., Vol. 27, 313-323 pp.

12- Holtz, R. and Kovacs, W. (1981), “An Introduction to Geotechnical Engineering”, Prentice-Hall, Inc. ISBN 0-13-484394-0.76-92pp.

13- Kalkana, E., S. Akbulutb, (2004), “The positive effects of silica fume on the permeability, swelling pressure and compressive strength of natural clay liners,” Eng. Geol., Vol. 73, 295-300 pp.