مجله محیط شناسی، شماره ۳۳، بهار ۱۳۸۳، صفحه ۱۵-۹

بررسی اثر شیرابه بر ضریب نفوذ پذیری و ساختمان خاک های رسی بنتونیتی

دکتر سعید گیتی پور *

دکتر غلامرضا نبی بیدهندی **

چکیده

در بسیاری از موارد به علت اینکه خاک مناسب در اطراف محل های دفن ممکن است موجود نباشد، بنابراین با افزودن خاک رس بنتونیتی به خاک محل، میزان نفوذپذیری آن را کاهش می دهند. با توجه به اینکه تعداد آلاینده های موجود در شیرابه (طیف وسیعی از ترکیبات آلی و معدنی را شامل می شود) بسیار گسترده می باشد، و بسیاری از آنها جذب ذرات رسی شده و ضخامت بین لایه ای آنها را تغییر می دهند، لذا ضریب نفوذپذیری این گونه خاک ها به واسطه سازوکارهای جذب و تغییر ضخامت بین لایه ای کاهش می یابد . ضمناً رس های بنتونیتی به دلیل سطح ویژه بالا (۸۰۰ مترمربع بر گرم) و قدرت جذب سطحی زیاد (درمقایسه با خاک‌های درشت دانه) به آلاینده ها حساس‌تر بوده و نوع بلور وکاتیون های موجود در ساختمان آنها تاثیر زیادی بر ضریب نفوذپذیری لاینرهای محل دفن دارد. به عنوان مثال شیرابه های حاوی سیالات آلی مانند هپتان، متانول، بنزن، اتانول آمین و تتراکلرواتیلن ممکن است تا بیش از هزار برابر موجب افزایش نفوذپذیری این گونه خاک ها گردند. همچنین برخی از فلزات سنگین مانند آرسنیک، باریم ، کادمیم ، مس و نیکل در اثر جذب در سطح و ساختمان درونی ذرات موجب تغییراتی در ضخامت لایه دوگانه می گردند.

با توجه به مطالب فوق ، در این تحقیق تلاش گردیده که آثار شیرابه واقعی بر ساختمان و ضریب نفوذپذیری خاک های رسی بنتونیتی بررسی گردد. بدین منظور آزمایش های گوناگون ژئوتکنیکی از قبیل دانه‌بندی، وزن مخصوص، نفوذپذیری، برگشت اشعه ایکس و نیز آزمایش های محیط زیستی بر روی نمونه‌های خاک ماسه ای با ۲٪ ، ۴٪ و ۶٪ بنتونیت انجام و آثار آب و شیرابه (از محل دفن کهریزک) بر ساختمان و ضریب نفوذپذیری این گونه خاک ها بررسی و در نهایت مناسب ترین خاک برای لاینرهای زیر محل دفن ارائه گردید.

نتایج آزمایش های مذکور نشان داد که نمونه های خاک بر اساس روش دانه بندی متحده (USCS) از نوع SP (ماسه بد دانه بندی شده) بوده و نمونه های ماسه ای حاوی ۴٪ و ۶٪ رس بنتونیت با شیرابه، به ترتیب دارای میانگین ضریب نفوذپذیری $۲/۱۵\times۱۰^{-۸}$ و $۱/۳\times۱۰^{-۱۰}$سانتیمتر بر ثانیه می باشند. نمونه های یاد شده پائین تر از حد استاندارد سازمان محیط زیست کشور امریکا ($۱۰^{-۸}$ –۷cm/sec) برای لاینرهای محل های دفن می باشند نتایج آزمایش های برگشت اشعه ایکس دلالت بر تغییر ضخامت ذرات رسی (از ۱۱/۶ آنگسترم به ۱۵/۷ آنگسترم) در اثر جذب شیرابه در ساختمان و سطوح آنها دارد.

کلید واژه

خاک رس بنتونیتی، ضریب نفوذپذیری، محل دفن، فاصله بین لایه ای، شیرابه، لاینر رسی، آزمایش XRD.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۱/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۲/۸/۷

* استادیار دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

** استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

سرآغاز

آلودگی آبهای زیرزمینی از مشکلات اساسی این‌گونه منابع در محل‌های دفن می‌باشد. ترکیبات متنوعی از آلاینده‌های آلی و فلزی در شیرابهٔ تولیدی محل‌های دفن موجودند که این ترکیبات با توجه به فرهنگ مصرفی شهرهای مختلف متفاوت می‌باشند. بنابراین به منظور جلوگیری از تراوش و نفوذ شیرابه حاصل از مدفن به آبهای زیرزمینی و کاهش خطر آلودگی آنها، کف مدفن را با لایه آب‌بندی از جنس خاک رس بنتونیتی، یا ترکیبی از آن و غشای مصنوعی می‌پوشانند و در بالای این لایه که آن را لاینر می‌نامیم، یک لایه زهکشی برای جمع‌آوری شیرابه قرار می‌گیرد (Chritensen et al., 1994). با توجه به هدف ساخت لاینرها می‌توان گفت مهمترین خصوصیت مورد توجه در مورد آنها نفوذپذیری است. در واقع تلاش اساسی درطراحی و ساخت لاینرها به این مسئله معطوف می‌شود که چه باید کرد تا به حداقل نفوذپذیری لازم دسترسی یافت (Daniel, 1993).

در بسیاری از موارد به دلیل اینکه خاک مناسب در محل دفن ممکن است وجود نداشته باشد، پس با افزودن رس بنتونیتی به خاک محل، میزان نفوذپذیری آن را کاهش می‌دهند (بنتونیت اغلب از کانی مونت‌موریلونیت بوده و متعلق به گروه اسمکتیت می‌باشد). با توجه به اینکه آلاینده‌های موجود در شیرابه (تعداد آنها بسیار گسترده می‌باشد) جذب ذرات رسی شده و ضخامت بین لایه‌ای آنها را تغییر می‌دهند، لذا ضریب نفوذپذیری این‌گونه خاک‌ها به‌واسطهٔ سازوکارهای جذب و تغییرات در ضخامت لایه دوگانه تغییر می کند. ضمناً رس های بنتونیتی به دلیل سطح تماس زیاد (۸۰۰ مترمربع بر گرم)، جذب سطحی و درون ساختمانی بالا و ریز بودن منافذ (نسبت به خاک های درشت‌دانه) به مواد شیمیایی حساس تر بوده و نوع بلور و کاتیون‌های موجود در ساختمان آنها تأثیر زیادی بر ضریب نفوذپذیری لاینرها دارد (Mitchell, 1992). به عنوان مثال شیرابه حاوی سیالات آلی مانند هپتان، متانول، بنزن، اتانول آمین و تترا کلرو اتیلن ممکن است تا بیش از ۱۰۰۰ برابر موجب افزایش نفوذپذیری گشته و ترکیبات غیرآلی، نظیر آرسنیک، باریم، کادمیم، منگنز، کلراید، کلر، مس، آهن، سولفور، سیانید و نقره نیز سبب تغییراتی در ضخامت لایه دوگانه گردند (Rowe et al., 1995).

اگرچه مواد شیمیایی معمولاً موجب تغییر در نفوذپذیری خاک های بنتونیتی می‌شوند ولیکن شیرابه‌ها اغلب دارای جامدات معلق گوناگونی اند که می‌توانند موجب انسداد خلل و فرج خاک لاینرها شده و از نفوذپذیری آنها بکاهند. بعلاوه غلظت شیرابه تولیدی در محل های دفن، با توجه به جذب آلاینده‌های موجود در آن، توسط ذرات خاک و نیز ترکیب آلاینده ها با یکدیگر نیز ممکن است در محلول شیرابه کاهش یابد (Bouazza and Van Impe, 1998). همچنین با در نظر گرفتن اینکه بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و شیرابه تفاوت‌هایی وجود دارد، بنابراین ضریب نفوذپذیری اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای لاینرهای رسی با آنچه در محل دفن می‌باشد ممکن است اختلاف چشمگیری داشته باشد. علل این‌گونه اختلافات را می‌توان به تفاوت حجم نمونه در آزمایشگاه و در محل دفن، اختلاف در تراکم خاک ها، دستخوردگی نمونه در آزمایشگاه، اختلاف در گرادیان هیدرولیکی اعمال شده، عدم اشباع کامل خاک درآزمایشگاه، اختلاف در شرایط مرزی و آلاینده‌های موجود در شیرابه مرتبط دانست (Raussell-Colom and Serratosa, 1987).

غرض از انجام این مطالعه، بررسی اثر شیرابه بر ساختمان و ضریب نفوذپذیری خاک های رسی بنتونیتی می‌باشد. در این تحقیق کوشش بر آن بوده است که با انجام آزمایش های گوناگون ژئوتکنیکی و محیط زیستی بر روی نمونه‌های خاک ماسه‌ای همراه با ۲٪، ۴٪ و ۶٪ خاک رس بنتونیتی، اثر آب و شیرابه را بر ساختمان و ضریب نفوذپذیری این گونه خاک ها بررسی و در نهایت مناسب‌ترین خاک برای لاینرهای زیر محل‌های دفن ارائه گردد.

مواد و روشها

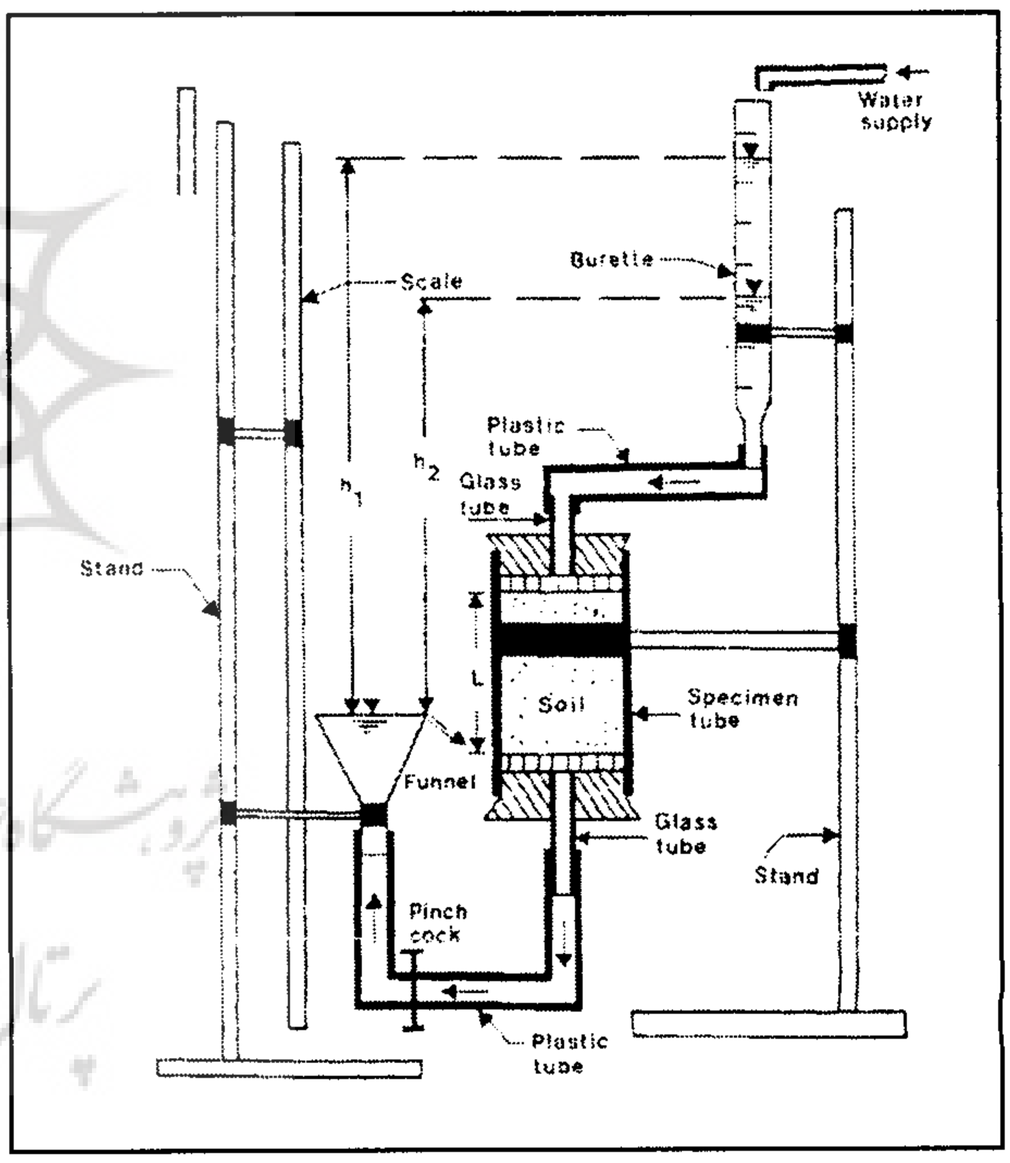
آزمایش های محیط زیستی و ژئوتکنیکی شیرابه و نمونه های خاک

به منظور آشنایی با کیفیت شیرابه مورد مطالعه در این تحقیق که از محل دفن کهریزک نمونه‌برداری گردیده،

آزمایش هایی از قبیل pH، BOD_5، COD، TOC و T.S.S بر روی شیرابه صورت پذیرفت. همچنین آزمایش هایی از قبیل آزمایش تعیین درصد رطوبت، دانه بندی، آزمایش تراکم بر روی خاک ها انجام گرفت که شرح هریک از آنها درانجمن روشهای آزمایش کشور امریکا (ASTM)[1] بیان گردیده است.

آزمایش نفوذپذیری خاک

در آزمایشگاه مکانیک خاک، ضریب نفوذپذیری (k) به روش هد متغیر که تصویر شماتیک دستگاه سنجش آن در شکل شماره (۱) نشان داده شده اندازه گیری گردید. روش انجام آزمایش به طریق هد متغیر در ASTM-D5084 شرح داده شده است (Daniel, 1993).



شکل شماره (۱): تصویر شماتیک از دستگاه آزمایش نفوذپذیری با هد متغیر(Das, 1990)

در این روش به ماسه با اندازه دانه بندی متوسط در نسبت های ۲٪ و ۴٪ و ۶٪ وزنی خاک رس افزوده و به نسبت های ۷٪، ۱۰٪ و ۱۳٪ وزن نمونه آب اضافه گردید تا درصد رطوبت خاک به حدود مقادیر طبیعی آن برسد، سپس مقداری از خاک مرطوب را در داخل دستگاه اندازه گیری نفوذپذیری ریخته و با استفاده از نتایج آزمایش، تراکم وزن مخصوص خاک به حدود بهینه تراکم رسانده شد. پس از آن در دستگاه را محکم بسته به‌طوری که هیچ‌گونه نشتی نداشته باشد. برای اشباع نمونه خاک، آب را از طریق لوله پلاستیکی ورودی وارد دستگاه کرده و عمل هواگیری توسط شیر مخصوص هوا انجام گرفت. عبور آب از نمونه تا زمانی که خاک از آب اشباع گردد ادامه یافت (برای دستیابی به این منظور، آبی معادل دو برابر حجم منافذ خاک یا PoreVolume از نمونه عبور داده شد). پس از اشباع نمونه، شیر ورودی آب را بسته و مقداری آب درون لوله ورودی ریخته و ارتفاع آن بر حسب سانتیمتر اندازه‌گیری گردید(h_1). سپس شیر ورودی آب را باز نموده و اجازهٔ عبور آب از داخل نمونه داده شد تا ارتفاع آن به مقدار h_2 نزول نماید. زمان t که در آن ارتفاع آب از h_1 به h_2 تغییر یافت، پس از بستن شیر ورودی بر حسب ثانیه یادداشت گردید. این عمل چندین بار تکرار گردید و در هر بار پارامترهای فوق ثبت گردیدند. پس از انجام مراتب فوق، ضریب نفوذپذیری از رابطهٔ زیر تعیین گردید (Das, 1990).

$$k = 2/303 \frac{aL}{At} Log \frac{h_1}{h_2}$$

که در رابطهٔ فوق داریم:

a: سطح مقطع لوله پلاستیکی (ورودی آب به سلول) (cm^2)

L: طول نمونه خاک (cm)

A: سطح مقطع نمونه خاک (یا سلول) (cm^2)

آزمایش برگشت اشعه ایکس(XRD)

جهت اندازه‌گیری ضخامت ذرات رسی، از آزمایش برگشت اشعه ایکس استفاده گردید. در این آزمایش ذرات رس در مسیر اشعه ایکس قرار گرفت. اشعه فوق پس از برخورد با اتم های سازنده هر ذره، بازتاب یافته و براساس رابطه براگ ضخامت لایه رسی تعیین گردید. روش انجام آزمایش توسط Moore and Reynolds (1989) توضیح داده شده است.

جهت آزمایش، نمونه خاک رس را با استفاده از هگزامتا فسفات سدیم به حالت انتشار در آورده، سپس با سانتریفیوژ ذرات کوچکتر از ۰/۲ میکرن را جدا نموده و دو سانتیمتر مکعب از خاک رسی را بر روی یک لام و لامل قرار داده، می‌خشکانیم.

سپس نمونه رس را در دستگاه اشعه ایکس و در درون یک استوانه که در پیرامون آن فیلم عکاسی حساسی تعبیه شده است، گذارده و اشعه ایکس را درحالی که لام محتوی نمونه، گردش دورانی آرامی دارد، به آن می تابانیم. بدیهی است کلیهٔ سطوح اتمی شبکه تبلور در مواردی که اشعه تابش و بازتاب هم فازند، از خودعکس العمل نشان داده و بازتاب هایی ایجاد می کنند که هر بازتاب نیز با زاویهٔ θ معینی همراه است. شدت اشعه بازتاب بستگی به فراوانی یون‌ها در سطوح مختلف ذرات رسی دارد(بای بوردی، ۱۳۶۸).

پس از انجام آزمایش، نموداری مطابق شکل ۲ حاصل می‌شود. که نقاط اوج منحنی در شکل مبین این نکته هستند که در آن زاویهٔ اشعه تابش (θ)، اشعه تابش و اشعه بازتاب هم فاز بوده و طول موج اشعه ایکس (λ) نیز برابر ۱/۵۴ آنگستروم در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که آزمایش XRD در آزمایشگاه دانشکده علوم دانشگاه تهران انجام گردید.

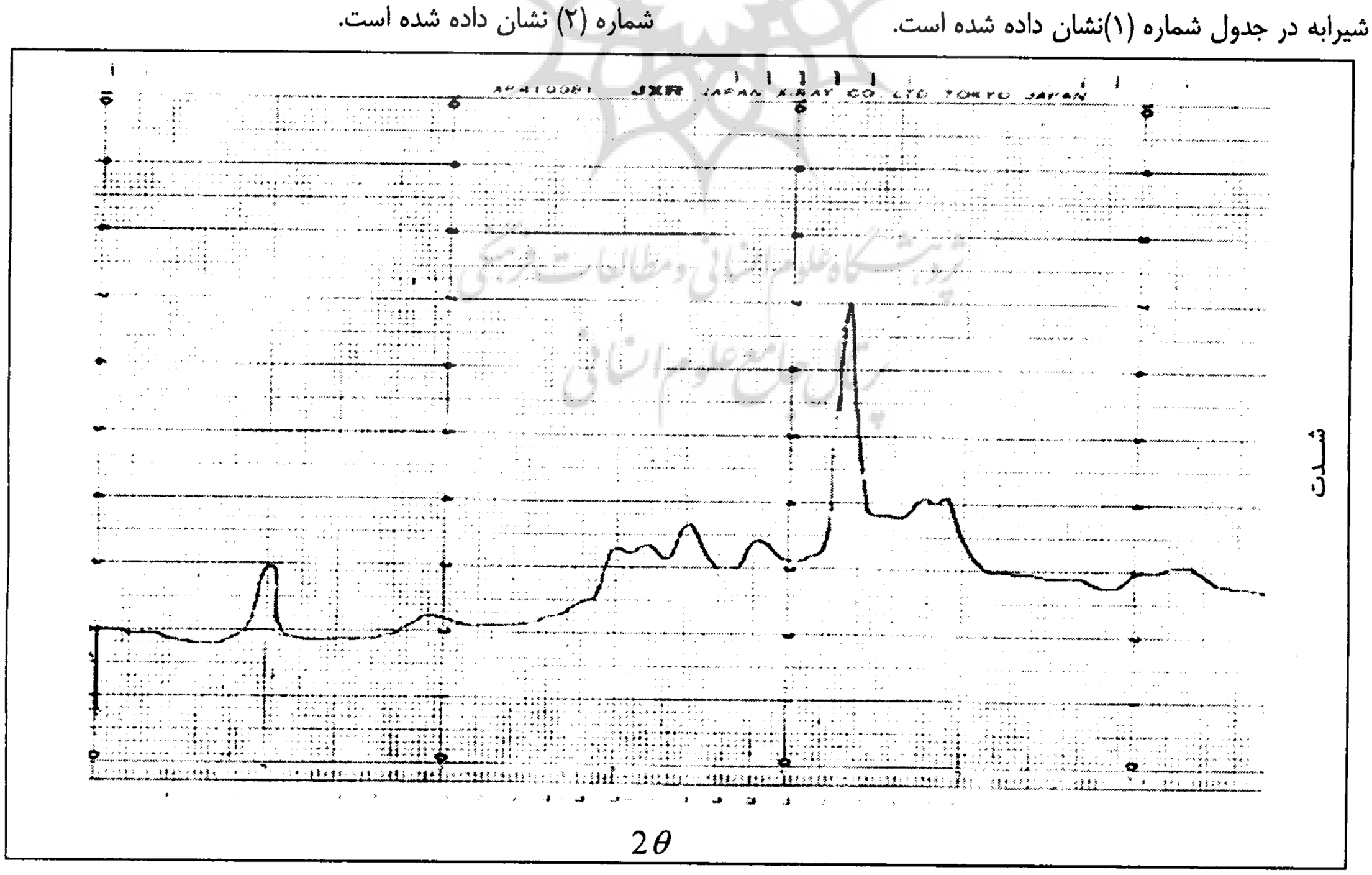
نتایج

نتایج حاصل از آزمایش های مربوط به تعیین خصوصیات شیرابه در جدول شماره (۱)نشان داده شده است.

جدول شماره (۱): نتایج آزمایشهای تعیین خصوصیات شیرابه زباله کهریزک

BOD_5= ۳۰۰۰۰ mg/l	PH = ۴/۵-۵
COD= ۶۰۰۰۰ mg/l	PO_4^{3-} = ۲۰۰-۲۵۰ mg/l
TOC= ۱۸۰۰۰-۲۰۰۰۰ mg/l	NO_3^- = ۱۵۰-۲۰۰ mg/l
T.S.S= ۲۰۰۰-۱۰۰۰۰ mg/l	SO_4^{2-} = ۲۰۰۰-۲۵۰۰ mg/l

همچنین با توجه به آزمایش دانه‌بندی، نوع خاک، بنا به روش طبقه بندی متحده (USCS)[۲] کشور امریکا از نوع SP (خاک ماسه‌ای بددانه‌بندی شده) بوده و با توجه به روش آشتو نیز در گروه A-1b واقع گردید(Bardet, 1993). نتایج آزمایش های شیمیایی و مکانیک خاک انجام گرفته دلالت بر آن دارند که برای نمونه‌های با ۲٪، ۴٪ و ۶٪ رس، رطوبتی در حدود ۷٪، ۸٪، ۱۰٪ به دست آمد که کمتر از رطوبت نسبی برای خاک های طبیعی می‌باشد (۲۰٪= w_w%)، بنابراین با توجه به نتایج آزمایش های تراکم برای لاینرهای بنتونیتی می باید آب را به خاک اضافه کرد. نتایج آزمایش های نفوذپذیری در جدول شماره (۲) نشان داده شده است.



شکل شماره (۲): نمودار آزمایش برگشت اشعه ایکس بر روی خاک رس اشباع

جدول شماره (۲): نتایج آزمایش های نفوذپذیری در آزمایشگاه

نمونه ماسه با ۶٪ بنتونیت و محلول آب	ضریب نفوذپذیری (cm/s)	نمونه ماسه با ۴٪ بنتونیت و محلول آب	ضریب نفوذپذیری (cm/s)	نمونه ماسه با ۶٪ بنتونیت و محلول شیرابه	ضریب نفوذپذیری (cm/s)	انحراف از استاندارد (Standard Deviation)
آزمایش اول	$۱/۵۸\times۱۰^{-۳}$	آزمایش اول	$۳/۸\times۱۰^{-۶}$	آزمایش اول	۸×۱۰^{-۸}	$۹/۱\times۱۰^{-۴}$
آزمایش دوم	$۴/۶\times۱۰^{-۳}$	آزمایش دوم	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	آزمایش دوم	$۴/۳\times۱۰^{-۸}$	$۲/۶\times۱۰^{-۴}$
میانگین	$۳/۰۹\times۱۰^{-۳}$	میانگین	$۳/۱۵\times۱۰^{-۶}$	میانگین	$۶/۱۵\times۱۰^{-۸}$	$۱/۸\times۱۰^{-۳}$
نمونه ماسه با ۲٪ بنتونیت ومحلول شیرابه	ضریب نفوذپذیری (cm/s)	نمونه ماسه با ۴٪ بنتونیت و محلول شیرابه	ضریب نفوذپذیری (cm/s)	نمونه ماسه با ۶٪ بنتونیت و محلول شیرابه	ضریب نفوذپذیری (cm/s)	انحراف از استاندارد (Standard Deviation)
آزمایش اول	$۲/۷۵\times۱۰^{-۵}$	آزمایش اول	$۳/۴\times۱۰^{-۸}$	آزمایش اول	$۱/۸\times۱۰^{-۱۰}$	$۱/۶\times۱۰^{-۵}$
آزمایش دوم	$۶/۵\times۱۰^{-۵}$	آزمایش دوم	۹×۱۰^{-۹}	آزمایش دوم	۸×۱۰^{-۱۱}	$۳/۷\times۱۰^{-۵}$
میانگین	$۴/۶۲\times۱۰^{-۵}$	میانگین	$۲/۱۵\times۱۰^{-۸}$	میانگین	$۱/۳\times۱۰^{-۱۰}$	$۲/۷\times۱۰^{-۵}$

در این مطالعه تعداد ۱۲ عدد نمونه خاک ماسه رسی‌و ماسه با شیرابه و آب آزمایش(نفوذ پذیری) گردید که میانگین انحراف از استاندارد نتایج حاصل در جدول شماره (۱) ذکر گردیده اند. همان‌گونه که در این جدول نشان داده شده است نمونه ۴٪ خاک رس بنتونیتی دارای ضریب نفوذپذیری $۲/۱۵\times۱۰^{-۸}cm/s$ با شیرابه می‌باشد که این مقدار بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست کشور امریکا (U.S.EPA)[۳] که ضریب نفوذپذیری لاینرها را در محل های دفن برابر و یا کمتر از $۱\times۱۰^{-۷}cm/s$ در نظرگرفته قابل قبول بوده و می‌تواند برای آب بندی آنها استفاده گردد (Rowe et al., 1995). همچنین در خصوص خاک رس ۶٪، نتایج آزمایش نفوذپذیری برای شیرابه، مقدار $۱/۳\times۱۰^{-۱۰}cm/S$ را نشان می‌دهد که بسیار کمتر از استاندارد تعیین شده فوق بوده و براحتی می تواند در لاینرها مورد استفاده قرار گیرد. درخصوص نمونه بنتونیتی ۲٪، ضریب نفوذپذیری به دست آمده برابر $۴/۶۲\times۱۰^{-۵}cm/s$ برای شیرابه تعیین گردید. چنین خاکی از نظر نفوذپذیری در محل های دفن موجب تراوش بیش از حد شده و آلودگی آبهای زیرزمینی را موجب می‌گردد.

همچنین نتایج حاصل از آزمایش XRD (برگشت اشعه ایکس) نشان‌دهنده تغییر فاصله بین لایه‌ای ذرات بنتونیتی به علت نفوذ آلاینده‌ها و مولکول های دوقطبی آب در ساختمان و روی سطوح آنها می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایش XRD یا شکست اشعه ایکس که بیانگر فاصله بین لایه ای ذرات رسی می باشد در جدول شماره (۳) نشان داده شده است.

بحث و نتیجه گیری

با مقایسهٔ نتایج آزمایش های نفوذپذیری خاک ها برای نسبت های ۲٪، ۴٪ و ۶٪ می‌توان مشاهده نمود که ضرایب نفوذپذیری نمونه‌ها با شیرابه به ترتیب ۶۷، ۱۴۶ و ۴۷۳ برابر کمتر از آب می‌باشد. دلیل این موضوع را می‌توان به افزایش لایه دوگانه در خاک های بنتونیتی و تغییر ساختار و نحوه قرارگیری ذرات با توجه به جذب آلاینده‌های موجود در شیرابه و نیز به ویسکوزیته پایین شیرابه نسبت داد (Mitchell, 1992).

جدول شماره (۳): نتایج آزمایش Xray بر روی نمونه های رس

نمونه رس کاملاً خشک (آنگسترم)	نمونه رس مرطوب (آنگسترم)	نمونه رس اشباع (آنگسترم)	نمونه رس مخلوط با شیرابه (آنگسترم)
$d=11.6A^0$	$d=14.5A^0$	$d=19.6A^0$	$d=15.7A^0$

با در نظر گرفتن ضرایب نفوذپذیری $2/15\times10^{-8}$cm/s و $1/3\times10^{-10}$cm/s برای خاک های بنتونیتی ۴٪ و ۶٪، دبی خروجی از لاینرهای احداث شده در زیر محل های دفن در یک سال از یک سانتیمتر مقطع، به ترتیب $0/67$ cm^3 و $0/004$cm^3 می‌باشد که با در نظر گرفتن اینکه ضخامت لاینرها معمولاً در حدود ۱ m است، پس مقدار حجم خروجی شیرابه از چنین لاینرهایی در طول عمر مفید محل دفن بسیار پایین و در حد قابل اغماض می‌باشد.

همان‌گونه که مقادیر ذکر شده در جدول شماره (۳) نشان می‌دهند خاک رس کاملاً خشک دارای فاصله بین لایه‌ای ۱۱/۶ A آنگسترم می‌باشد، که در مقایسه با خاک رس مخلوط شده با شیرابه حدود ۳۵٪ (d= ۱۵/۷ A) تغییر کرده است. این تغییر را می‌توان به نفوذ آلاینده‌های موجود در شیرابه در ساختمان و روی سطوح ذرات رسی مرتبط دانست. نظیر چنین تغییراتی را می‌توان در مطالعاتی که توسط راسل– کالوم و سراتوسا (Raussel-Colom and Serratosa, 1987) صورت گرفته مشاهده نمود. در خصوص تغییرات فاصله بین لایه‌ای ذرات بنتونیت با آب مشاهده می‌شود که مقدار این تغییرات از ۱۱/۶A^0 به ۱۹/۶A^0 افزایش یافته است. چنین رویدادی با جذب مولکول های دوقطبی آب در بین ذرات رس مرتبط بوده و موجب افزایش فاصلهٔ بین لایه‌ای ذرات بنتونیتی در حدود ۷۰٪ می‌گردد (Fang and Inyang, 1996).

پیشنهادها

با استفاده از نتایج به دست آمده در این تحقیق، پیشنهادهای زیر در ارتباط با جذب آلاینده ها و ضریب نفوذپذیری لاینرها در محل های دفن مواد زاید جامد ارائه می گردد:

- تکیه بر آزمایش های نفوذپذیری آزمایشگاهی صرف در مورد طراحی محل های دفن زوائد جامد می‌تواند منجر به خطاهای بزرگ در خصوص نتایج نفوذپذیری گردد و به همین جهت انجام آزمایش های محلی از قبیل لوژان و لوفران به منظور کنترل و تکمیل نتایج الزامی است. علل عمده این اختلاف را می‌توان در نوع و اندازه نمونه خاک و دستخوردگی آن، درجه تراکم، شیب هیدرولیکی اعمال شده، درجهٔ اشباع و اختلاف در شرایط فیزیکی نمونه در آزمایشگاه و محوطه دانست. اطلاع و شناخت از عوامل مؤثر در نفوذپذیری خاک ها موجب انتخاب روش مناسب برای رسیدن به حداقل نفوذپذیری لاینرها می گردد.
- تغییر در ضریب نفوذپذیری خاک با توجه به خواص شیمیایی شیرابه، به طور عمده مربوط به بخش رسی خاک است. مطالعات انجام گرفته در این تحقیق نشان می‌دهد که ضخامت لایهٔ دو گانه ذرات رس رابطهٔ عکس با نفوذپذیری توده آنها دارد. براساس نظریه گوی و چاپمن (Mitchell, 1992) هر چه ظرفیت کاتیون (V) موجود در شیرابه کمتر، ثابت دی‌الکتریک (ε) آن بیشتر و غلظت سیال (C) کمتر باشد، ضخامت این لایه بیشتر و نفوذپذیری به دلیل افزایش حجم بخش جامد خاک کمتر می‌گردد. به عنوان نمونه در صورت جایگزینی یون کلسیم از شیرابه با یون سدیم بنتونیت، ضخامت لایهٔ دو گانه کاهش یافته و علاوه بر افزایش نفوذپذیری، رس دچار انقباض و ترک‌خوردگی می‌شود.
- افزودن ۶٪ -۴٪ خاک رس بنتونیتی به خاک لاینر مقاومت آن را در برابر سیالات شیمیایی (شیرابه) افزایش و میزان نفوذپذیری خاک را کاهش می دهد. درصد مناسب خاک رس را می‌توان با انجام آزمایش های نفوذپذیری در مورد زیرساختگاه لاینر و

پوشش نهایی مدفن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به طوری که قوانین و مقرارت محیط زیستی از جمله U.S.EPA حداکثر ضریب نفوذپذیری مجاز لاینرها را 1×10^{-7} cm/s تعیین کرده است.

رس بنتونیت تنها مصالح خاکی مناسب برای ساخت لاینر مدفن های مهندسی و بهداشتی می باشد که علاوه بر نفوذپذیری کم و مطمئن دارای قدرت بالای ترقیق شیرابه بوده و خواص مکانیکی مناسب دارد (Fang and Inyang, 1996). با وجود این افزودن بنتونیت به خاک لاینرها در محل های دفن نیاز به تخصص و توجهات عملی خاصی دارد (روش اختلاط، میزان تراکم خاک، درصد رطوبت، نوع ماشین آلات) که مورد اشاره این تحقیق نیست. لاینر رسی مصنوعی را نیز می‌توان در محل‌های دفن استفاده نمود ولی به دلایل ظرفیت ترقیق شیرابهٔ بالا و نیز هزینه سنگین همواره باید به همراه لایهٔ رسی طبیعی کوبیده و به کار برده شود. این توصیه در مورد غشای مصنوعی نیز صادق است. یک لایهٔ یک تا دو سانتیمتری از غشای مصنوعی ژئوسینتتیکی معادل ۶۰ سانتیمتر رس کوبیده می تواند مؤثر باشد (Mc Bean et al., 1995).

یادداشتها

1- American Society for Testing and Materials (ASTM), 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken. 1997. Pennsylvania, U. S. A, 19428- 2959.

2- United State Classification System.

3- United State Environmental Agency Protection.

سپاسگزاری

بدین وسیله از راهنمایی های آقای مهندس پرداختی که با کمک های بی‌دریغ خود در این تحقیق، انجام آن را ممکن نمود و نیز از همکاری آقای محسن شاهی دانشجوی کارشناسی ارشد که اجرای آزمایش های ژئوتکنیکی و محیط زیستی را عهده دار بودند و مساعدت های سرکار خانم آقا محمدی در آزمایشگاه محیط زیست دانشگاه تهران قدردانی و تشکر می گردد.

منابع مورد استفاده

بای‌بوردی، محمد. ۱۳۶۸. فیزیک خاک، چاپ چهارم، دانشگاه تهران.

Bardet J. P. 1993. Experimental Soil Mechanics, Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey ISBN: 0-13-374935-5.

Bouazza A. & Van Impe W.F. 1998. Liner design for waste disposal sites, Journal of Environmental Geology. 35(1): 41-54.

Christensen T. H. et al. 1994. Landfilling of Waste: Barriers, E & FN Spon, ISBN: 0-419-15990-81-0419159908.

Daniel D. E. 1993. Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapman & Hall, ISBN: 0412351706

Fang H. Y. & Inyang H. I. 1996. Environmental Geotechnology, Technomic Pub. Proceeding of the 3rd International Symposioum, Vol. l.

Mc Bean E. A. Rovers F. A., and Farguhar G.J. 1995. Solid waste Landfill Engineering and Design Prentice Hall USA. ISBN: 0-13-079187-3.

Mitchell J. K. 1992. Fundamentals of Soil Behavior, 2nd Edition John Wiley & Sons, Inc., ISBN: 0471856401.

Moore , D. M., and Reynolds, R. C. 1989. Jr. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, Oxford University Press, New York, 332pp.

Rowe R. K. et al. 1995. Clayey Barrier Systems for Waste Disposal Facilities , E & FN Spon. Chapman and Hall, London, 390p.

Raussell-Colom, J. A. and Serratosa, J. M. 1987. Reaction of clays with organic substances. Chemistry of Clays and Clay Minerals. Edited by A. C. D. Newman Longmans, London : 371-422.