

رفتار ژئوتکنیک زیست محیطی مونت موریلونیت اصلاح شده با کاتیون در جذب آلاینده سرب

وحیدرضا اوحدی^{۱*}، سید ایمان چوپچیان لنگرودی^۲

۱- استاد گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا

vahidouhadi@yahoo.ca

(دریافت مقاله: آذر ۱۳۸۷، دریافت پذیرش: اردیبهشت ۱۳۸۸)

چکیده- از آنجا که رفتار خاک‌های رسی و میزان اندرکنش آنها با آلاینده‌ها تابعی از ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و سطح مخصوص فعال آنها است، نوع ساختار خاک و کاتیون‌های موجود در لایه دوگانه، نقش عمده‌ای را در فرایند اندرکنش کاتیون‌های رسی با آلاینده‌های زیست محیطی ایفاء می‌کنند. بیشترین سهم کاتیون‌های رسی مورد استفاده در مراکز دفن مهندسی زیاله را سدیم-مونت موریلونیت و کلسیم-مونت موریلونیت تشکیل می‌دهد. در این مقاله تأثیر نوع کاتیون لایه دوگانه بر جذب آلاینده سرب در کاتیون رسی مونت موریلونیت بررسی شده است. بدین منظور نمونه‌های مختلف رسی سدیم-مونت موریلونیت و کلسیم-مونت موریلونیت با استفاده از غلظت‌های متفاوت نمک NaCl و CaCl₂ تهیه شده و رفتار آنها در اندرکنش با سرب مطالعه شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که اگرچه تغییرات ظرفیت بافر کردن نمونه مونت موریلونیت در غلظت‌های متفاوت نمک NaCl، نسبت به هم تغییر ناچیزی دارد، اما میزان نگهداری سرب توسط نمونه‌های حاوی NaCl تا غلظتی معادل حداکثر پراکندگی خاک (نقطه حداکثر CEC و سطح مخصوص فعال) افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد. به بیانی دیگر، آزمایش تعیین میزان آلودگی جذب شده توسط خاک، حد آشکارسازی قابل-توجه‌تری نسبت به آزمایش تعیین بافر کردن خاک دارد. در حالت مونت موریلونیت هم‌ویونی شده با Ca، علی‌رغم کاهش غیر قابل ملاحظه‌ی ظرفیت بافر کردن نسبت به مونت موریلونیت خالص، میزان کمتری از نگهداری سرب در آن نسبت به مونت موریلونیت خالص و سدیم-مونت موریلونیت مشاهده شد. این موضوع نیز علاوه بر نشان دادن محدودیت آزمایش بافر کردن، بیانگر تأثیر نوع ساختار و کاتیون موجود بر قابلیت نگهداری آلودگی در خاک است. نتایج فرایند اندرکنش نمونه‌های سدیم مونت موریلونیت و کلسیم مونت موریلونیت با آلاینده فلز سنگین به‌کمک آزمایش‌های XRD نیز مقایسه شده است.

کلید واژگان: مونت موریلونیت، لایه دوگانه، آلاینده فلز سنگین، آزمایش XRD

۱- مقدمه

ویژگیهای مطلوب فیزیکی و رفتاری بتونیت، موجب شده که از این کانی رسی به‌طور گسترده‌ای در مراکز دفن مهندسی زباله و خصوصاً در مراحل دفن زباله‌های اتمی استفاده شود [۱ و ۲]. از آنجا که یکی از فرایندهای تأثیرگذار بر قابلیت جذب و نگهداری آلودگی فلز سنگین در کانی‌های رسی، وجود بار منفی ذرات رسی است، میزان قابلیت تبادل کاتیونی (CEC) و سطح مخصوص فعال رس (SSA) نقش عمده‌ای را در ارزیابی قابلیت جذب آلاینده‌ها توسط رس ایفا می‌کنند [۳]. خصوصیات مهندسی رس‌ها متأثر از نحوه قرارگیری پولک‌های رسی در کنار یکدیگر و نوع ساختار خاک (پراکنده، درهم) می‌باشد (۴). بر اساس تئوری لایه دوگانه رسی، ضخامت لایه دوگانه تابعی از ظرفیت کاتیون، غلظت و شعاع هیدراته آن است [۴]. بنابراین، افزایش پراکندگی ذرات خاک در حالت وجود کاتیون سدیم را می‌توان به جایگزینی سدیم با شعاع هیدراته بزرگتری به‌جای هیدروژن‌های ساختار رس [۵] و در نتیجه، افزایش ضخامت لایه دوگانه نسبت داد [۴ و ۶]. اما در صورتی که غلظت یون سدیم از مقدار مشخصی که به نوع خاک و نوع منشأ آنیونی نمک سدیم بستگی دارد [۷ و ۸] بیشتر شود، ساختار خاک به سمت حالت توده‌ای پیش می‌رود [۶]. در این حالت، به دلیل کاهش سطح مخصوص فعال، میزان اندرکنش ذرات رسی با مایع منفذی نیز کاهش می‌یابد. همچنین، بر اساس نظریه لایه دوگانه، در صورتی که کاتیون غالب در ساختار خاک ظرفیت بالاتری داشته باشد، ضخامت لایه دوگانه کاهش بیشتری یافته و در نتیجه، ساختار خاک به حالت بسیار مجتمع تبدیل می‌شود. به علاوه برگشت‌پذیری کاتیون‌های با ظرفیت بالاتر از ساختار خاک به داخل محلول کمتر است

به‌طوری‌که سرعت دفع یون‌های سدیم به الکترولیت آزاد سیستم رس، بسیار سریع‌تر از یون‌های دو ظرفیتی خواهد بود [۹]. از سوی دیگر، غلظتی از اسید که برای یک واحد تغییر در pH خاک مورد نیاز است، برابر با ظرفیت بافرکردن خاک است. ظرفیت بافرکردن خاک، به‌طور مستقیم به عنوان معیاری برای تعیین قابلیت نگهداری یون سرب توسط خاک به‌کار می‌رود [۱۰].

با آنکه تحقیقات وسیعی که در زمینه فرایند اندرکنش کانی‌های رسی و آلاینده‌های فلز سنگین انجام شده، در زمینه تأثیر نوع کاتیون لایه دوگانه بر میزان جذب آلاینده فلز سنگین در خاک تحقیقات محدودی گزارش شده است. همچنین در زمینه مقایسه قابلیت آزمایش‌های جذب و بافرکردن برای نشان دادن فرایند اندرکنش نمونه‌های بتونیت (حاوی کاتیون متفاوت در لایه دوگانه) با آلاینده‌های فلز سنگین تحقیقات بسیار کمی انجام شده است. بنابراین هدف اصلی این تحقیق تعیین تأثیر کاتیون لایه دوگانه بر جذب آلاینده سرب در کانی رسی مونت‌موریلونیت انتخاب شده است. در این راستا، ابتدا به مطالعه تأثیر غلظت نمک کلرید سدیم و سپس، نوع ساختار ایجاد شده در خاک بر میزان نگهداری فلز سرب، pH و ظرفیت بافرکردن مونت‌موریلونیت پرداخته شده است. سپس تأثیر تغییر ساختار خاک بر اثر افزایش ظرفیت کاتیون موجود در خاک - که با استفاده از نمک کلرید سدیم انجام شده - بر میزان نگهداری فلز سرب، pH و ظرفیت بافرکردن مونت‌موریلونیت ارزیابی شده و نتایج به‌دست آمده، با مونت‌موریلونیت بدون پیش‌ترکیبی و کلسیم - مونت‌موریلونیت مقایسه شده است. بخشی از این مطالعه به مقایسه نحوه رسوب‌گذاری اختصاص یافته است.

۲- مواد و روشها

سانتریفیوژ جدا شده و آزمایش جذب اتمی با دستگاه GBC 932 AB Plus روی آن انجام شد. همچنین تعدادی آزمایش اشعه ایکس به منظور مطالعه فرایند اندرکنش نمونه‌های سدیم- مونت‌موریلونیت و کلسیم- مونت‌موریلونیت انجام شد. ساخت نمونه‌های این آزمایش‌ها به روشی که بعداً توضیح داده خواهد شد انجام شده است [۱۳]. برای نمونه‌سازی، ۰/۲g از نمونه خاک هومویونی ابتدا خشک شده و سپس با ۱۰ml الکترولیت حاوی غلظت مشخص آلاینده فلزی مخلوط شد. سپس چند قطره از این نمونه بر روی اسلاید شیشه‌ای با ابعاد ۳×۳ سانتی‌متر قرارداد شده و پس از خشک شدن نمونه بر روی اسلاید، با استفاده از دستگاه XRD نوع D8-Advance از شرکت زیمنس مورد تحلیل اشعه ایکس قرار گرفته است.

جدول ۱ ویژگیهای ژئوتکنیکی و ژئوتکنیک زیست‌محیطی بنتونیت مورد مطالعه (۱)

ویژگیهای ژئوتکنیکی		ویژگیهای ژئوتکنیک زیست‌محیطی	
حد روانی (%)	۳۱۴/۵	pH	۱۰
دامنه خمیری (%)	۲۸۳/۳	EC (dS/m)	۰/۶۴
طبقه‌بندی خاک	CH	Na ⁺ (cmol /kg)	۴۸/۵
G _s	۲/۷۹	Ca ²⁺ (cmol /kg)	۱۴/۲
درصد رس	۷۶	Mg ²⁺ (cmol /kg)	۳/۴
درصد لای	۲۳	K ⁺ (cmol /kg)	۲/۱
درصد ماسه	۱	CEC (cmol /kg)	۶۸/۲
ω _{opt} (%)	۲۳	SSA (m ² /g)	۴۱۸
وزن مخصوص خشک (g/cm ³)	۱/۵۶	درصد کربنات	۸

خاک رسی استفاده شده در این تحقیق، نمونه بنتونیت اخذ شده از شرکت ایران باریت بوده که بخش عمده آن از کانی رسی مونت‌موریلونیت تشکیل شده است. برخی ویژگیهای ژئوتکنیکی و ژئوتکنیک زیست‌محیطی نمونه بنتونیت استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است [۱]. سه غلظت نمک کلرید سدیم به منظور تغییر ساختار مونت‌موریلونیت در نسبت ۱:۵۰ به خاک اضافه شد [۷]. غلظت‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که ساختار خاک را به غلظت‌های حالت قبل از حداکثر پراکندگی، پراکندگی حداکثر، و پس از حداکثر پراکندگی تغییر دهند. برای ساخت نمونه‌های هومویونی، محلول ۱M نمک CaCl₂ در نسبت ۱:۱۰ به خاک مورد نظر اضافه شده و پس از حصول شرایط تعادل نمونه‌ها، توسط دستگاه سانتریفیوژ، فاز مایع از فاز جامد خاک جدا شد. آزمایش تیتراسیون نمونه‌ها با افزودن ۱۰ غلظت مختلف اسید نیتریک در نسبت ۱:۱۰ [۱۱] به ده نمونه بنتونیت انجام شد. پس از گذشت سه روز و رسیدن مخلوط به حالت تعادل، pH هریک از نمونه‌ها اندازه‌گیری و بدین ترتیب، ظرفیت بافرکردن نمونه‌ها ارزیابی شد. آلاینده فلزی سرب، مطابق روش تعادل مخلوط اشباع [۱۲]، در غلظت‌های مختلف آلاینده و با نسبت ۱:۵۰ (خاک به الکترولیت) به نمونه‌های مونت‌موریلونیت خالص و نمونه‌های سدیم-مونت-موریلونیت و کلسیم- مونت‌موریلونیت اضافه شد. پس از لرزاندن نمونه‌ها به مدت دو ساعت در دو روز متوالی، به منظور برقراری حالت تعادل، نمونه‌ها به مدت ۹۶ ساعت رها شد. سپس، بخش مایع نمونه‌ها توسط دستگاه

1. Batch Equilibrium Test

۳- بحث و بررسی

۳-۱- مونت‌موریلونیت بدون پیش‌ترکیب

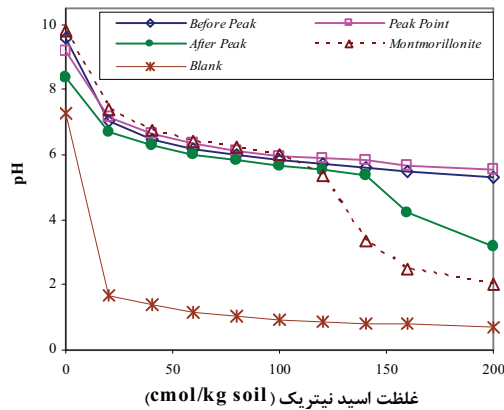
قابلیت نگهداری فلزهای سنگین توسط خاک رسی، به عوامل مختلفی مانند pH و مشخصات خاک بستگی دارد [۳]. براساس تحقیقات انجام شده در [۱۰]، علاوه بر ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح مخصوص، حضور کربنات‌ها نیز به‌طور قابل توجهی بر قابلیت نگهداری آلاینده‌ها توسط خاک رسی مشارکت اثر می‌گذارد. در این تحقیق، با توجه به اینکه سهم کربنات در تمامی نمونه‌ها یکسان است، از اثر این عامل صرف‌نظر شده است. ویژگی‌های نگهداری سرب توسط مونت‌موریلونیت در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، تا غلظت $25 \text{ cmol/kg (soil)}$ ، کل سرب توسط خاک نگهداری شده و پس از این غلظت، نگهداری سرب توسط خاک به‌طور پیشرونده‌ای کاهش می‌یابد. در واقع میزان سرب نگهداری شده در خاک، از غلظت cmol/kg (soil) تا $1000 \text{ cmol/kg (soil)}$ فقط ۲۷٪ افزایش می‌یابد.

آزمایش تیتراسیون بر روی مونت‌موریلونیت بدون پیش‌ترکیب کردن (شکل ۲) نشان داد که تا غلظت $120 \text{ cmol/kg (soil)}$ از اسید نیتریک افزوده شده، خاک مقاومت خوبی را در برابر تغییر pH نشان داده و پس از آن با افزایش غلظت H^+ ، افت در pH نمونه سوسپانسیون خاک-الکترولیت مشاهده می‌شود. این مطلب نشان دهنده آن است که نگهداری آلاینده توسط خاک، تا غلظت مشخصی از آلاینده روندی افزایشی داشته و پس از آن، روندی کاهشی خواهد یافت.

۳-۲- اثر غلظت‌های مختلف نمک کلرید سدیم

بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمایش کدورت‌سنجی [۷]، غلظت‌های معادل نقطه قبل از حداکثر پراکندگی، در حداکثر پراکندگی، و پس از حداکثر پراکندگی برای نمونه رس، به‌ترتیب برابر ۵، ۲۵ و $125 \text{ cmol/kg (soil)}$ انتخاب شد. آزمایش جذب بر روی نمونه‌ها و میزان سرب نگهداری شده در خاک در هر یک از غلظت‌ها، در شکل (۱) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که میزان نگهداری آلاینده در حالت حداکثر پراکندگی، بیشتر از حالت‌های دیگر است که این دلیلی بر تأثیر پراکندگی ساختار خاک و در نتیجه، بسیج شدن CEC و SSA خاک در جذب آلودگی توسط خاک است. در مقایسه با مونت‌موریلونیت بدون پیش‌ترکیب، افزایش ۳۳ درصدی در نگهداری سرب توسط خاک را می‌توان به وجود یون سدیم در ساختار خاک نسبت داد. برطبق نتایج دیگر محققان، حضور یون Na^+ در خاک موجب افزایش نگهداری فلز سنگین روی در خاک‌های رسی می‌شود [۱۴].

همچنین از شکل (۱) می‌توان مشاهده کرد که اگرچه در غلظت پس از حداکثر پراکندگی، ساختار خاک به حالت مجتمع تبدیل شده و سطح مخصوص کمتری را در معرض اندرکنش با آلودگی قرار می‌دهد، اما حضور یونهای سدیم و کلرید موجب افزایش میزان نگهداری آلاینده نسبت به خاک بدون پیش‌ترکیبی (۱۳٪) شده است. با وجود نتایج فوق، آزمایش تیتراسیون نمونه‌ها، افزایشی بسیار جزئی در مقاومت خاک را در حالت حداکثر پراکندگی نشان داد (شکل ۲). در مقایسه با ظرفیت بافرکردن مونت‌موریلونیت بدون پیش‌ترکیب، حضور نمک کلرید سدیم در خاک موجب کاهش pH اولیه خاک می‌شود. اما همان‌گونه که در شکل (۲) دیده



شکل ۲ نتایج آزمایش تیتراسیون مونت موریلونیت در حضور غلظت‌های معادل حداکثر پراکندگی، قبل و بعد از حداکثر پراکندگی نمک کلرید سدیم

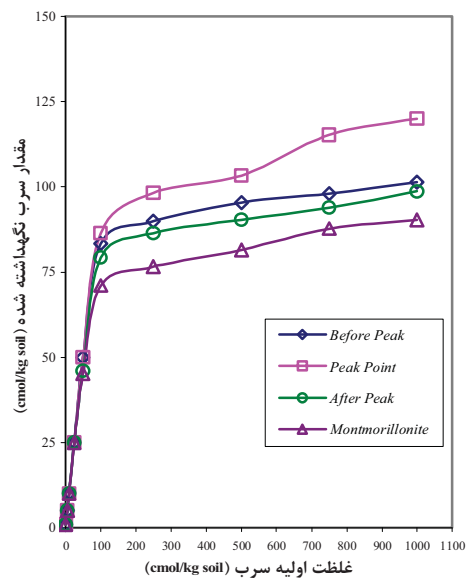
۳-۳- فرایند اندرکنش کلسیم- مونت-

موریلونیت و آلایندة فلزی

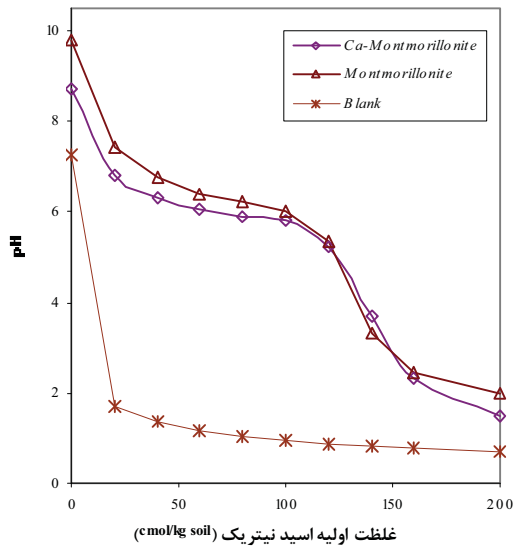
آزمایشهایی که همزمان با آزمایش‌های قبلی بر روی نمونه‌های مونت موریلونیت هوموینی شده با ساختار بسیار مجتمع انجام شد، کاهش قابل توجه در نگهداری سرب را نسبت به حالت‌های قبلی نشان می‌دهد (شکل ۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان نگهداری سرب نسبت به مونت موریلونیت بدون پیش‌ترکیب، کاهش یافته است. این روند، در غلظت‌های بالاتر بیشتر مشهود است. این در حالی است که بر اساس نتایج شکل (۴)، تفاوت بافرکردن مونت موریلونیت و کلسیم-مونت- موریلونیت ناچیز است. ساختار مجتمعی که به دلیل حضور یون‌های دو ظرفیتی کلسیم در ساختار خاک و لایه دوگانه ایجاد شده است، موجب شده که خاک نتواند به‌طور کامل در معرض اندرکنش با محلول حاوی آلایندة قرار گیرد و در نتیجه، میزان نگهداری سرب کاهش

می‌شود در غلظتی که افت pH مونت موریلونیت بدون پیش‌ترکیبی رخ می‌دهد، نمونه‌های سدیم-مونت-موریلونیت همچنان در برابر تغییرات pH محیط مقاومت نموده‌اند. فقط در حالت پس از حداکثر پراکندگی، افت pH در غلظت بالاتری نسبت به مونت موریلونیت رخ داده است.

این نتایج، افزایش نگهداری آلایندة توسط خاک را در حالت وجود نمک نسبت به حالت عدم وجود نمک توجیه می‌کند. ضمن آنکه برای تفکیک قابلیت بافرکردن نمونه‌ها لازم است آزمایش تیتراسیون در غلظت‌های اسید بیشتر از حد معمول ادامه یابد.



شکل ۱ نگهداری فلز سنگین سرب توسط مونت موریلونیت در حضور غلظت‌های معادل حداکثر پراکندگی، قبل و بعد از حداکثر پراکندگی نمک کلرید سدیم.



شکل ۴ منحنی تیتراسیون مونت موریلونیت
هوموینی شده با Ca

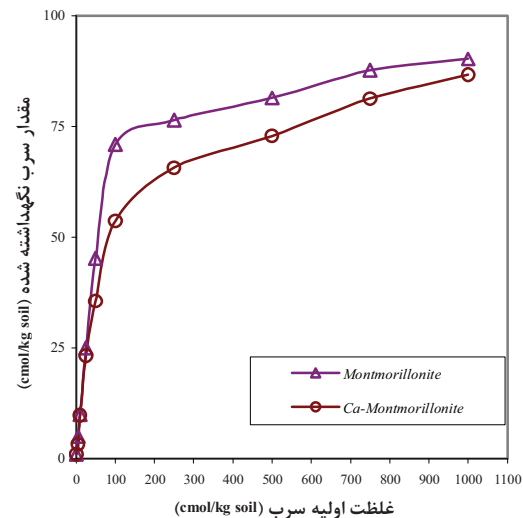
شرکت کننده در اندرکنش با آلاینده، یکسان باشند می تواند به طور کیفی در پیشگویی چگونگی اندرکنش خاک- محلول مفید باشد. برای مونت موریلونیت بدون پیش ترکیب و کلسیم- مونت موریلونیت، نتایج رسوب گذاری هریک از نمونه ها به صورت درصدی از حجم کل نمونه در شکل (۵) نشان داده شده است.

همان طور که در شکل دیده می شود، در مونت موریلونیت بدون پیش ترکیب، در غلظت های کمتر از $25 \text{ cmol/kg (soil)}$ درصد نسبی ذرات خاک در مخلوط خاک- آب، برابر 100% است. به بیانی دیگر، خاک نمی تواند ته نشین شود و بنابراین میزان رسوب گذاری برابر 0% است. سپس، نمونه ها شروع به رسوب گذاری کرده است به طوری که در غلظت های بالاتر از cmol/kg

می یابد. از طرفی، رقابت بین کلسیم موجود در ساختار خاک با آلاینده سرب برای جذب بر روی سطوح آلومینوسیلیکاتی رس ها [۱۵، ۱۶] نیز دلیلی بر کاهش میزان نگهداری سرب توسط خاک هوموینی شده با کلسیم بوده است. این در حالی است که آزمایش ارزیابی بافر کردن خاک، امکان تمایز کافی بین فرایند مورد انتظار در اندرکنش مونت موریلونیت و کلسیم- مونت موریلونیت را با آلاینده فلزی فراهم نمی کند (شکل ۴).

۳-۴- بررسی نحوه رسوب گذاری نمونه ها

نحوه رسوب گذاری هریک از نمونه ها را می توان به عنوان تابعی از میزان جذب آلاینده و قابلیت خاک در نگهداری فلز سرب ارزیابی کرد. این روش در صورتی که فازهای



شکل ۳ نگهداری سرب توسط مونت موریلونیت
هوموینی شده با Ca

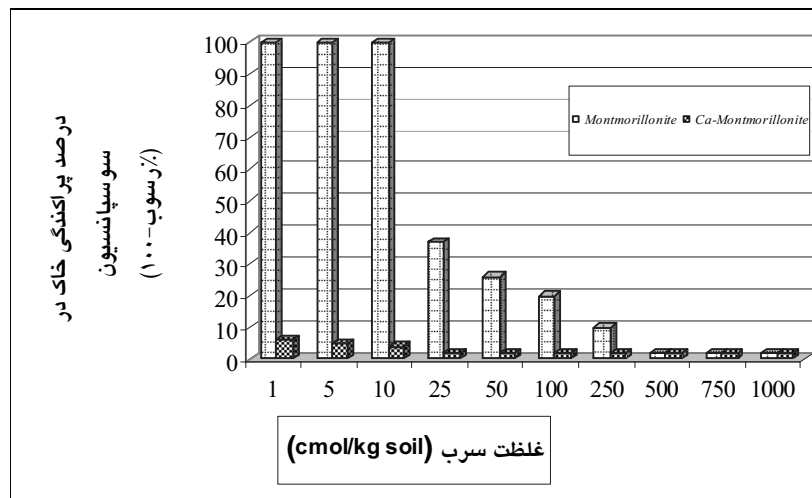
صورت مجتمع بوده است. حال اگر این نمونه‌ها در مقابل یون‌های دو ظرفیتی سرب قرار گیرند، جابه‌جایی در لایه دوگانه خاک بین یون‌های دو ظرفیتی کلسیم با یون‌های دو ظرفیتی سرب صورت می‌گیرد و در نتیجه، تغییر چندانی در ساختار خاک ایجاد نمی‌شود. البته، تفاوت در شعاع یونی کلسیم و سرب، اندکی بر ساختار خاک در هر حالت اثر می‌گذارد.

۳-۵- تحلیل نتایج آزمایش‌های اشعه ایکس

به‌منظور مطالعه تأثیر آلاینده‌های فلز سنگین بر ریزساختار کلسیم-بتونیت، دو نمونه بتونیت هومویونی شده در معرض غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌مول سرب بر کیلوگرم خاک قرار گرفتند. بر اساس شکل (۶)، افزایش غلظت یون فلز سنگین سبب کاهش شدت حداکثر در اشعه ایکس مربوط به کانی مونت‌موریلونیت شده است. علت این رفتار را می‌توان به صورت ذیل توجیه کرد هنگامی که کلسیم بتونیت در معرض غلظت‌های مختلف آلاینده فلز سنگین قرار می‌گیرد، با افزایش غلظت آلاینده

(soil) ۲۵۰، میزان رسوب نمونه‌ها به حداکثر مقدار یعنی برابر حجم خاک می‌رسد.

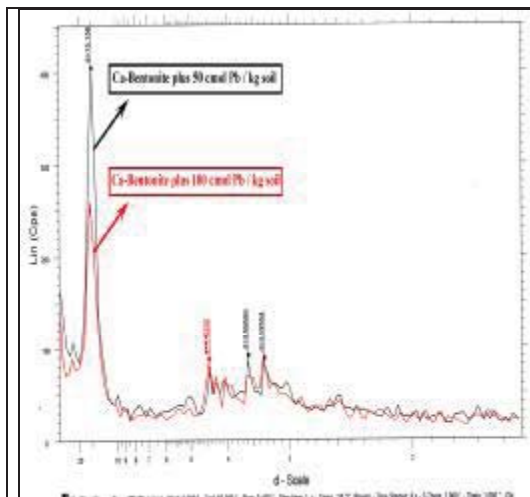
در صورتی که نتایج رسوب‌گذاری با نتایج جذب که در شکل (۱) نشان داده شده مقایسه شود، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ارتباط منطقی بین نتایج جذب و رسوب‌گذاری وجود دارد. در غلظت‌های پایین که خاک توانایی رسوب ندارد، علی‌رغم جذب تمامی آلاینده‌ها، خاک همچنان توانایی جذب آلاینده را دارد. بنابراین، هنوز تمامی فازها در نگهداری سرب به‌طور کامل مشارکت نکرده‌اند. در غلظت‌های بالاتر، با افزایش نسبی جذب آلاینده، کاتیون غالب در ساختار خاک یون‌های Pb^{2+} است، که در نتیجه، ساختار خاک را از حالت پراکنده به حالت مجتمع تبدیل می‌کند. نحوه رسوب‌گذاری نمونه‌های هومویونی، مشابه نمونه‌های مونت‌موریلونیت دارای غلظت‌های آلاینده زیاد است (شکل ۵). دلیل این رفتار خاک را می‌توان توجیه کرد، از آنجا که کاتیون غالب در نمونه‌های هومویونی، یون‌های دو ظرفیتی کلسیم است، لذا ساختار خاک از آغاز به-



شکل ۵ درصد ذرات معلق در نمونه‌های مونت‌موریلونیت و هومویونی در محلول (معادل با (درصد رسوب نمونه‌ها - ۱۰۰)) برای غلظت‌های مختلف آلاینده سرب

قابلیت نگهداری نمونه بنتونیت از نمونه کلسیم-بنتونیت بیشتر است.

می‌توان نتیجه‌گیری کرد که از آنجا که نمونه ساختار پراکنده سطوح بیشتری برای اندرکنش با آلودگی دارد، آلودگی بیشتری را جذب می‌کند. این سبب کاهش بیشتر ضخامت لایه دوگانه نمونه پراکنده بنتونیت پس از اندرکنش با آلودگی در مقایسه با دیگر نمونه‌ها شده است [۱۷]. در نتیجه، نمونه با ساختار پراکنده، پس از اندرکنش با آلودگی شدت حداکثر کمتری را نشان داده است.



شکل ۶ نتایج آزمایش‌های اشعه ایکس نمونه کلسیم-بنتونیت که در معرض غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌مول بر کیلوگرم سرب قرار گرفته است.

۴- نتیجه‌گیری

- ساختار خاک و نحوه قرارگیری پولک‌های رسی در کنار یکدیگر، به ویژگی‌های مایع منفذی و نوع کاتیون‌های موجود در خاک بستگی دارد.

کنش بیشتری بین پولک‌های رسی و یون سرب رخ می‌دهد. در ادامه، افزایش جذب یون‌های سرب در لایه دوگانه رسی سبب کاهش بیشتر ضخامت لایه دوگانه می‌شود که این باعث شکل‌گیری بیشتر ساختار درهم دو نمونه می‌شود. ایجاد چنین ساختار درهم باعث انعکاس کمتر اشعه ایکس از نمونه می‌شود. بنابراین نمونه‌های بنتونیت حاوی غلظت‌های بیشتری از آلاینده فلز سنگین شدت حداکثر کمتری را نشان داده‌اند.

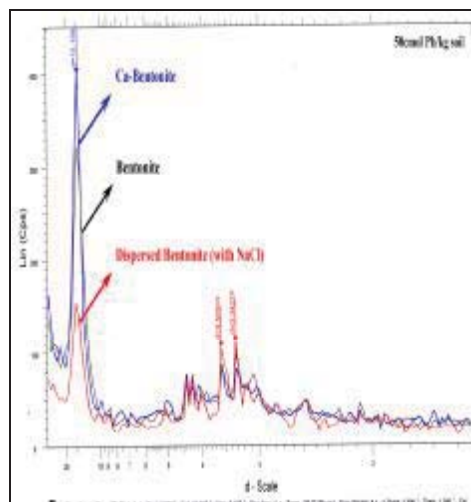
از سوی دیگر، ساختار اولیه خاک و نوع اصلاح اولیه یونی انجام شده بر روی نمونه، بر فرایند اندرکنش خاک و آلاینده فلز سنگین تأثیر قابل توجهی دارد. در شکل (۷) تأثیر ساختار اولیه خاک بر تغییر ریزساختار سه نمونه مختلف بنتونیت - که دارای اصلاح یونی اولیه متفاوتی بوده‌اند- ارائه شده است. در این آزمایش سه نمونه کلسیم بنتونیت، بنتونیت پراکنده، و بنتونیت بدون پیش ترکیب در معرض غلظت ۵۰ سانتی‌مول بر کیلوگرم از نیترات سرب قرار گرفته و پس از رسیدن به شرایط تعادل و خشک شدن، آزمایش اشعه ایکس انجام شده است.

نتایج این آزمایشها در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، موقعیت‌های حداکثر اشعه ایکس هر سه نمونه مورد مطالعه مشابه است. به بیان دیگر، در موقعیت پیک نمونه‌های دارای فرایندهای عمل آوردگی مختلف، پس از اندرکنش با آلودگی فلز سنگین تغییری ایجاد نشده است. همچنین، همان‌طور که شکل (۷) نشان می‌دهد نمونه کلسیم-بنتونیت در مقایسه با نمونه بنتونیت و نمونه بنتونیت پراکنده، پس از اندرکنش با آلاینده، شدت حداکثر بیشتری را نشان داده است. در شکل (۳) دیده شد که

- با مقایسه طیف اشعه ایکس نمونه‌های مختلف بنتونیت حاوی کاتیون‌های متفاوت در لایه دوگانه می‌توان تأثیر کاتیون لایه دوگانه بر فرایند جذب این نمونه‌ها را بررسی و تحلیل کرد. بر اساس این نتایج، شدت و جذب در نتایج طیف اشعه ایکس و نیز تغییر در ریزساختار خاک نه تنها تابعی از نوع کانی و نوع و غلظت آلاینده فلز سنگین است بلکه نوع و غلظت کاتیون لایه دوگانه بنتونیت تأثیر ویژه‌ای بر تغییر ریز ساختار خاک آلوده شده دارد.

۵- منابع

- [1] Ouhadi V.R., Goodarzi A.R.; "Pore Fluid Characteristics Effect on Dispersivity Behaviour of Bentonite from Macro and Micro Structure Aspects", *2nd International Symposium on Contaminated Sediments, Quebec City, Canada*; 2003, pp200-206.
- [2] Wersin P.; "Geochemical Modelling of Bentonite Pore-water in High-Level Waste Repositories", *Journal of Contaminant Hydrology*; Vol.61, 2003, pp405-422.
- [3] R.N.Yong, A.M.O.Mohamed, B.P.Warkentin, *Principles of Contaminant Transport in Soils*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, New York, Tokyo, 1992.
- [4] J.K.Mitchell, *Fundamentals of Soil Behaviour*. John Wiley & sons, Inc., New York, 1993.
- [5] Chen J.S., Cushman J.H., Low P.F.; "Rheological Behavior of Na-Montmorillonite Suspension at Low Electrolyte Concentration", *Clay and Clay Mineral*; Vol.38, No.1, 1990, pp57-62.
- [6] Maio C.; "Exposure of Bentonite to Salt Solution: Osmotic and mechanical effects", *Geotechnique*; Vol.46, 1996, pp695-707.



شکل ۷ طیف اشعه ایکس نمونه‌های بنتونیت، کلسیم-بنتونیت، و بنتونیت پراکنده بعد از قرار گرفتن در معرض سرب دارای غلظت ۵۰ سانتی مول بر کیلوگرم خاک.

ساختار پراکنده خاک موجب می‌شود که توانایی خاک در اندرکنش با یون‌های موجود در محلول بیشتر شود، اما در ساختار مجتمع، عکس این مشاهده می‌شود.

- در مطالعه تأثیر کاتیون لایه دوگانه بر فرایند اندرکنش خاک-آلودگی، آزمایش اندازه‌گیری قابلیت بافر کردن خاک در مقایسه با آزمایش اندازه‌گیری قابلیت نگهداری آلودگی در خاک، حد آشکارسازی کمتری دارد.

- نحوه رسوب‌گذاری خاک در برابر آلاینده، تا حدی می‌تواند در پیشگویی روند نگهداری آلاینده توسط خاک مؤثر باشد. نمونه‌های هومویونی با کاتیون‌های دو ظرفیتی و بالاتر، با ایجاد ساختار مجتمع، توانایی خاک را در اندرکنش با محلول منفذی کاهش داده و با کاتیون‌های موجود در محلول برای جذب رقابت می‌کنند.

- [7] اوحدی وحید رضا، گودرزی امیررضا؛ "رفتار پراکندگی کانی مونت موریلونیت از دیدگاه ریزساختاری و بزرگ ساختاری"، مجله فنی و مهندسی مدرس، شماره ۲۹، پاییز ۱۳۸۶، صص ۵۱-۶۰.
- [8] اوحدی وحید رضا، حقایق علی، بایسته حامد، "تأثیر آلاینده های فلز سنگین بر عملکرد مخلوط ماسه و بنتونیت (SEB) در مراکز دفن مهندسی زیاله"، مجله فنی و مهندسی مدرس، شماره ۳۳، ۱۳۸۷، صص ۸۲-۷۱.
- [9] Ouhadi V.R., Yong R.N., Sedighi, M.; "Desorption Response and Degradation of Buffering Capability of Bentonite, Subjected to Heavy Metal Contaminants", *Engineering Geology*; Vol.85, 2006, pp102-110.
- [10] Yong R.N., Phadungchewite Y.; "pH Influence on Selectivity and Retention of Heavy Metals in Some Clay Soils", *Canadian Geotechnical Journal*; Vol. 30, 1993, pp.821-833.
- [11] Yong R.N., Warkentine B.P., Phadungchewite Y., Galvez R.; "Buffer Capacity and Lead Retention in Some Clay Materials", *Water, Air and Soil Pollution*; Vol. 53, 1990, pp53-67.
- [12] EPA, *Batch type adsorption procedures for estimating soil attenuation of chemicals*, Office of Solid Waste and
- Emergency Response, USEPA, Washington, D.C., EPA/530- SW- 87-006, 1987.
- [13] Ouhadi V.R., Yong R.N.; "Experimental and theoretical evaluation of impact of clay microstructure on the quantitative mineral evaluation by XRD analysis", *Applied Clay Science*; Vol.23, Iss.1-4, 2003, pp141-148.
- [14] Wang J.J., Harrell D.L.; "Effect of Ammonium, Potassium, and Sodium Cations and Phosphate, Nitrate, and Chloride Anions on Zinc Sorption and Lability in Selected Acid and Calcareous Soils", *Soil Science Society of America Journal*; Vol.69, 2005, pp1036-1046.
- [15] McBride M.B.; "Reactions Controlling Heavy Metal Solubility in Soils", *Advanced Soil Science*; Vol.10, 1989, pp1-55.
- [16] Zhu B., Alva A.K., "Differential Sorption of Trace Metals by Soils as Influenced by Exchangeable Cations and Ionic Strength", *Soil Science*; Vol.155, 1993, pp61-66.
- [۱۷] چوپچیان لنگرودی سید ایمان؛ قابلیت نگهداری آلاینده های فلزی سنگین در بنتونیت واگرا شده؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، ۱۳۸۷.