IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Vol. 12, No. 1, 1383/2004 Spring & Summer

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

The effect of Variations in Pore Fluid Properties on the Physical and Micro-structural Characteristics of Bentonite

V.R. Ouhadi, A.R. Goodarzi

Department of Geology, Bu-Ali Sina University, Hamean, Iran.
E-mail: vahido@basu.ac.ir

(received: 14/7/2003, received in revised form: 3/3/2004)

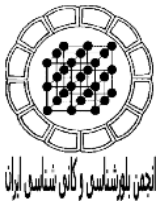
Abstract: Considering the importance of micro-structural characteristics of clayey soils on their behavior, the main objective of this research is to investigate the effect of pore fluid properties variations on clayey soils and their physical and micro-structural changes. For experimental purposes, soil-electrolyte solutions with the ratio of 1:50 prepared. A series of physical experiments, as well as, SEM and XRD experiments performed to investigate any variation on the soil behavior due to the changes in pore fluid properties. The results of the physical experiments indicate that, with increasing the electrolyte concentration, one will be faced with a change on the soil behavior including its interaction with water. The SEM pictures indicate that with the presence of sodium ions at low concentration, first soil takes a dispersive structure. With a further increase in salt concentration, and due to an increase in attractive forces in comparison with repulsive forces within clay particles, a flocculated structure forms. In addition to the above, during this process, a change will happen on the intensity and basal spacing of clay mineral. It is concluded that the main reason for a noticeable change in physical behavior of soil can be attributed mainly to the significant change in electrostatic forces of clay particles.

Keywords: *Micro-structural characteristics, Bentonite, Pore fluid, SEM, XRD.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال دوازدهم، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۸۳، از صفحهٔ ۵۱ تا ۶۴



تأثیر تغییر مشخصات مایع روزنه‌ای بر خصوصیات فیزیکی و ریزساختاری بنتونیت

وحیدرضا اوحدی، امیررضا گودرزی

دانشگاه بوعلی سینا، همدان

پست الکترونیکی: vahido@basu.ac.ir

(دریافت مقاله ۱۳۸۲/۴/۲۳ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۲/۱۲/۱۲)

چکیده: هدف اصلی این پژوهش، با توجه به اهمیت مشخصات ریزساختاری کانی‌شناختی و زیربافت در رفتار مهندسی خاک‌های ریزدانه، بررسی تأثیر خصوصیات شیمیائی مایع روزنه‌ای خاک‌های رسی بر تغییر ریزساختار آن است. بدین منظور نخست با استفاده از مخلوط خاک بنتونیت و نمک‌های سدیم با منشأ آنیونی متفاوت، مجموعه‌ای از نمونه‌های مصنوعی خاک-الکترولیت به نسبت ۱:۵۰ تهیه و سپس با آزمایشهای فیزیکی و آزمایشهای SEM و XRD تغییر رفتار خاک بررسی می‌شود.

نتایج آزمایشهای فیزیکی نشان می‌دهد که، با افزایش غلظت الکترولیت، رفتار خاک از نظر تمایل به برهم‌کنش با آب کاملاً تغییر می‌کند. نتایج تصاویر SEM نیز نشان می‌دهد که با حضور کاتیون سدیم و در غلظت‌های کم نمک، نخست ساختار خاک حالت پراکنده و با افزایش بیشتر غلظت نمک به لخته تبدیل می‌شود که ناشی از غلبهٔ نیروهای جاذبه بر نیروهای دافعه بین سطوح رسی است. همچنین با تغییر مایع روزنه‌ای بنتونیت، تغییرات عمده‌ای در موقعیت و شدت قلهٔ پراش پرتو X ایجاد می‌شود. بر این اساس، تغییرات ایجاد شده در رفتار مکانیکی را می‌توان به تغییر نیروهای بین سطوح ذرات رسی در مقیاس ریز ساختاری نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: *خصوصیات ریزساختاری، بنتونیت، مایع روزنه‌ای، SEM، XRD.*

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

مقدمه

خصوصیات رفتاری و مشخصات مهندسی خاکهای رسی، از جمله پارامترهای مقاومت برشی، میزان تورم و درصد جذب آب و نیز پتانسیل فرسایش پذیری آنها، به‌طور قابل ملاحظه‌ای متأثر از نوع کانیهای تشکیل دهندهٔ خاک و خصوصیات آب روزنه‌ای است. علاوه بر این، در یک خاک مشخص با حضور کانیهای رسی معین، با تغییر نحوهٔ آرایش و قرارگیری سطوح رس در کنار یکدیگر، احتمال تغییر خصوصیات رفتاری خاک به‌طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت [۱]. در این راستا، به عنوان مثال در خاک‌های رسی دارای ساختار لخته شده[1] نسبت به خاکهای رسی دارای ساختار پاشیده، به دلیل افزایش روزنه‌های ماکروسکوپی، ضریب نفوذپذیری و میزان تراکم پذیری خاک افزایش نشان داده است که نشان دهندهٔ تاثیر ساختار خاک بر خصوصیات رفتاری آن است [۲]. همچنین مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اگر بنتونیت در معرض آب روزنه‌ای حاوی کاتیونهای آلی قرار گیرد، حد آبگونی آن به میزان قابل توجهی (از ۴۵۸٪ به ۵۲٪) کاهش می‌یابد [۳]. به علاوه، تغییر حجم در خاکهای رسی می‌تواند از تغییر در خصوصیات شیمیائی آب روزنه‌ای نیز ایجاد شود [۴]. در این راستا تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که مفهوم فشار اسمزی می‌تواند امکان ارزیابی نظری نقش خصوصیات شیمیائی آب روزنه‌ای در رفتار مکانیکی و تحکیمی خاکهای رسی را فراهم نماید [۵]. همچنین نظریهٔ لایهٔ دو گانه، پایهٔ نظری مناسبی برای تفسیر رفتار مشاهده شده خاک بوده است [۶]. از نظر رفتار فیزیکی نیز مشاهده شده است که در فشارهای تحکیمی کم، غلظت الکترولیت تأثیر بیشتری بر نسبت منافذ خاک داشته است [۷]. همچنین، تحقیقات انجام شده بیانگر تأثیر قابل توجه نوع کاتیون الکترولیت آب روزنه‌ای بر خصوصیات تحکیم پذیری بنتونیت است [۸]. مطالعات اخیر نیز نشان داده است که میزان شوری آب روزنه‌ای خاک، تأثیر قابل توجهی بر مقاومت و خواص زمین‌شناختی مخلوط آب و خاک و به خصوص بر ویژگیهای تیکسوتروپی (اثر بندش) دارد [۹]. نوع کانیهای تشکیل دهندهٔ خاک در این فرایند سبب مشاهدهٔ رفتارهای متفاوت در نمونه‌های مورد مطالعه شده است.

از طرفی در طرحهای زیست محیطی، با استفاده از خاک بنتونیت سعی می‌شود که با توجه به حضور کانی مونت‌موریلونیت و به دلیل بالا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) و نیز پائین بودن نفوذپذیری آن، امکان انتشار آلاینده‌ها به محیط اطراف و آب‌های زیرزمینی به حداقل ممکن کاهش داده شود [۱۰]. به عنوان مثال، با در نظر گرفتن وابستگی قابلیت گذردهی خاک به ساختار آن، مطالعات گذشته نشان می‌دهد که با تغییر مشخصات مایع

1- Flocculated Structure

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

روزنه‌ای، آرایش سطوح رسی تغییر می‌کند، که تغییرات قابل توجهی را در قلهٔ اصلی خاک (مربوط به صفحات (۰۰۱)) در نتایج آنالیز XRD در پی دارد [۱۱]. این تغییر ساختار در بحث طراحی و استفاده از خاک‌های رسی در طرحهای نظیر مراکز دفن زباله و هستهٔ رسی سدهای خاکی بسیار با اهمیت است. اهمیت این موضوع از آن جنبه است که در پروژه های فوق، خاک دائماً در مجاورت آب‌های با خصوصیات متفاوت شیمیایی قرار دارد. لذا همواره این امکان وجود خواهد داشت که با تغییر خصوصیات ریز ساختاری خاک، مشخصات رفتاری خاک، از جمله میزان نفوذ پذیری و قابلیت فرسایش آن، تغییر کند [۱۲].

لذا با توجه به اهمیت مشخصات شیمیایی مایع روزنه‌ای (نوع و میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها) بر مشخصات ساختاری رس و نیز نظر به حضور قابل ملاحظهٔ کاتیون سدیم در پساب زباله‌های شهری و صنعتی [۱۳] و با در نظر گرفتن محدودهٔ غلظت آن در شیرابهٔ جایگاه‌های دفن زباله (در حدود ppm ۲۰۰۰)، در این تحقیق تأثیر کاتیون سدیم با منشأ آنیونی متفاوت بر مشخصات ریزساختاری خاک بررسی می‌شود. به این منظور، با ساخت محلولهایی از نمک‌های کلرید و کربنات سدیم و ترکیب آنها با خاک بنتونیت مورد نظر، ضمن بررسی آثار آنها بر رفتار فیزیکی خاک، احتمال تغییر ریزساختار خاک با استفاده از تصاویر SEM و آزمایشهای XRD مورد بررسی قرار گرفته است.

روش آزمایش

با توجه به اینکه خاک بنتونیت در زمینهٔ طراحی لایه‌های رسی ژئوتکستایل (GCLs)، طراحی لایه‌های رسی متراکم (CCLs) موجود در مراکز دفن زباله و نیز هستهٔ رسی سدهای خاکی دارای کاربرد فراوانی است [۱۴]، کلیهٔ مطالعات این پژوهش نیز بر روی خاک بنتونیت تهیه شده از شرکت باریت ایران صورت گرفته است. نخست برای شناسایی خاک، خصوصیات شیمیایی آن با توجه به روش توصیه شده توسط یانگ و همکاران [۱۵] تعیین و برای آنالیز شیمیایی مایع روزنه‌ای، از دستگاه جذب اتمی مدل GBC 932, AB Plus استفاده شد. همچنین خصوصیات فیزیکی خاک نیز بر اساس روش استاندارد ASTM [۱۶] تعیین شد. بر اساس نتایج آزمایشهای انجام شده، خصوصیات فیزیکی- شیمیایی بنتونیت مورد استفاده مطابق جدول ۱ به دست آمد. برای بررسی اثر غلظت الکترولیت بر خصوصیات ریزساختاری، محلول‌هایی با غلظت صفر تا صد میلی‌اکی‌والان بر لیتر (meq/lit) از نمک‌های کلرید سدیم

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

(NaCl) و کربنات سدیم ($Na_۲CO_۳$) تهیه شد. سپس با اضافه کردن خاک به هر محلول، نمونه‌های خاک- الکترولیت[۲] در نسبت ۱:۵۰ تهیه شد.

جدول ۱ خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک بنتونیت مورد استفاده.

مشخصهٔ مورد ارزیابی	مقدار اندازه‌گیری شده	مشخصهٔ مورد ارزیابی	مقدار اندازه‌گیری شده
Liquid Limit, %	۳۱۴٫۵	Na^+ (cmol /Kg)	۴۸٫۵
P.I., %	۲۸۳٫۳	Ca^{2+} (cmol /Kg)	۱۴٫۲
Soil Classification	CH	Mg^{2+} (cmol /Kg)	۳٫۴
Clay fraction, %	۷۲	K^+ (cmol /Kg)	۲٫۱
Silt fraction, %	۲۳	CEC, (cmol /Kg)	۶۸٫۲
Sand, %	۱	SSA, (m^2/g)	۴۱۸
pH (1:50, Soil-water)	۱۰٫۰۵	Carbonate, %	۸
EC (dS/m)	۰٫۶۴	Organic, %	<۱

به منظور تهیهٔ نمونه‌های مناسب برای SEM، از مجموعه لوله‌های پلاستیکی که در دو طرف آن سنگ متخلخل قرار می‌گرفت استفاده شد [۱۲]. برای این منظور، ابتدا نمونه‌های خاک- الکترولیت به مدت ۹۶ ساعت، به این ترتیب که هر روز تا ۱۵ دقیقه بهم زده می‌شدند، نگه‌داری شدند تا از همگنی فیزیکی- ظاهری آنها اطمینان حاصل شود. سپس، این نمونه‌های خاک-الکترولیت به تعادل رسیده درون لوله‌های پلاستیکی توخالی به قطر داخلی ۷ سانتی متر و ارتفاع ۱۵ سانتی متر ریخته شدند و با استفاده از یک پیستون و بارگذاری مرحله‌ای تنش تا ۲۵ کیلو پاسکال بارگذاری شدند. پس از خروج کامل آب روزنه‌ای اضافی، نمونهٔ خاک از درون لوله بیرون آورده شد و تا ۴۸ ساعت برای خشک شدن درون گرمخانه با دمای ۶۰°C قرار داده شد. پس از این مرحله بر اساس روش باردن و سایدز [۱۷] با شکستن هر یک از نمونه‌ها قطعاتی به ابعاد تقریبی یک سانتی‌متر تهیه شد و با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Jeol - Jsm 840A عکس‌های SEM تهیه شد.

نمونه‌های مناسب برای XRD بر اساس روش توصیه شده توسط مور و رینولدز تهیه شدند [۱۸]. بر اساس این روش، چند قطره از مخلوط خاک- الکترولیت روی لام شیشه‌ای ریخته شد و پس از خشک شدن بخشی از نمونه‌ها در دمای اتاق[۳]، و بخش دیگر در دمای ۵۵۰°C، طرح

2- Soil - Electrolyte
3- Air-dried

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

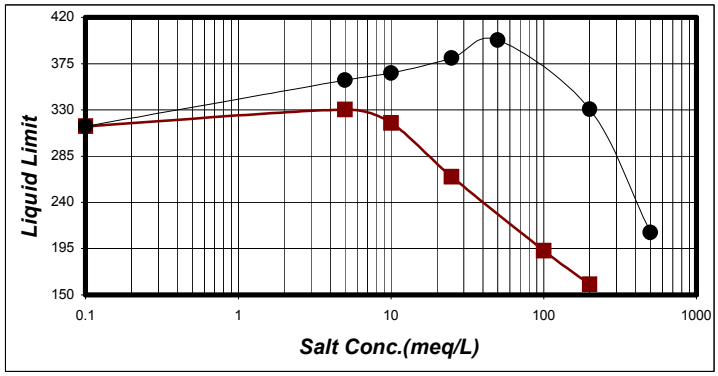
پراش پرتو X آنها با استفاده از دستگاه پرتو ایکس مدلSiemens-Diffraktometer-D5000 تهیه شد. لازم به ذکر است که در مراحل مختلف این پژوهش برای کنترل شرایط آزمایشگاهی، از آب مقطر به عنوان آب مورد استفاده در ساخت محلول‌ها استفاده شده است.

آزمایشهای فیزیکی

مشخصات رفتاری و ریزساختاری خاکهای ریزدانه تابعی از برهم‌کنش نیروهای دافعه و جاذبه بین سطوح رسی می‌باشد به طوری که میزان و چگونگی توزیع این نیروها روی سطوح رسی نیز خود تابع روابط نظری لایهٔ دوگانه است [۱۳ و ۱۷]. از این رو، و با در نظر گرفتن روابط نظری لایهٔ دوگانه، تغییر مشخصات شیمیایی مایع روزنه‌ای اطراف رس سبب تغییر میزان ضخامت لایهٔ دوگانه پخشیده می‌شود که در نهایت سبب تغییر چگونگی توزیع نیروهای بین پولکهای رسی و در نتیجه تغییر رفتار خاک خواهد شد.

برای بررسی تأثیر تغییر شرایط مایع روزنه‌ای در تغییر خصوصیات فیزیکی خاک، تغییر حد آبگونی خاک مورد مطالعه در غلظت نمکهای مختلف بر اساس آئین‌نامه ASTM اندازه‌گیری شد. بدین منظور پس از افزایش غلظت معین الکترولیت به خاک و همگن ساختن نمونه‌ها، حد آبگونی هر نمونه اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل ۱ ترسیم شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش غلظت الکترولیت، حد آبگونی نخست افزایش و سپس کاهش یافته است. به عبارت دیگر، نتایج نشان می‌دهند که نخست با حضور نمک و در محدودهٔ پائین غلظت الکترولیت، با غلبه نیروهای دافعه بر نیروهای جاذبه بین سطوح رسی [۱۲]، سطح در تماس با آب ذرات افزایش و در نتیجه امکان قرارگیری مولکول‌های آب بین پولکهای رسی بیشتر می‌شود. در ادامه و با افزایش بیشتر غلظت الکترولیت، با توجه به کاهش ضخامت لایهٔ دوگانه خاک و با غلبهٔ نیروهای جاذبه بر نیروهای دافعه، سطوح رسی به یکدیگر نزدیکتر شده و با کاهش امکان قرارگیری مولکول‌های آب بین ذرات، مقدار حد آبگونی کاهش یافته است. از طرفی ملاحظه می‌شود که در نمونهٔ بنتونیت حاوی نمک کلرید سدیم، حداکثر حد آبگونی در غلظت meq/lit ۵ و در نمونه ترکیب شده با نمک کربنات سدیم حداکثر حد آبگونی در غلظتmeq/lit ۲۵ رخ داده است. همچنین میزان حد آبگونی در نمونهٔ بنتونیت با کربنات سدیم نسبت به نمونهٔ حاوی نمک کلرید سدیم افزایش بیشتری نشان می‌دهد. علت اصلی این افزایش اتصال شیمیایی آنیون‌هایی مثل کربنات به سطوح ذرات رسی و افزایش بار منفی روی این سطوح می‌تواند باشد. به نحوی که این اتصال سبب افزایش نیروهای دافعه بین ذرات رس و افزایش پراکندگی ساختار می‌شود که در نهایت افزایش پتانسیل جذب سطحی خاک را در پی خواهد شد [۱۹].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



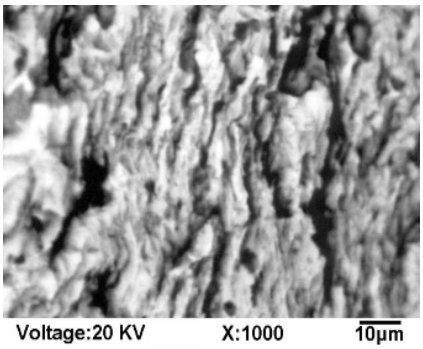
شکل ۱ اثر خصوصیات شیمیایی مایع روزنه‌ای بر حد آبگونی خاک بنتونیت.

آزمایشهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

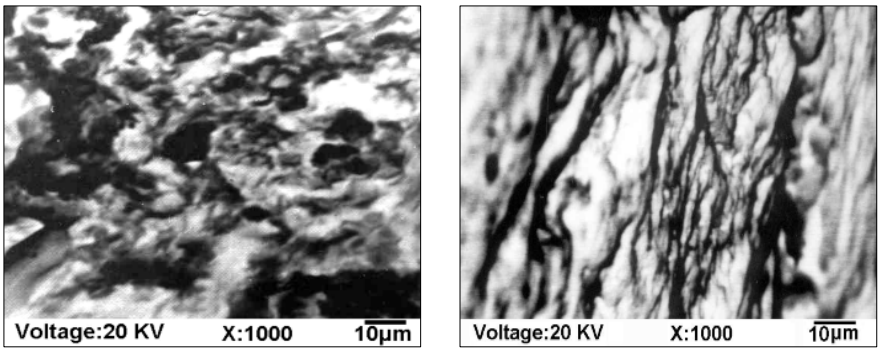
نتایج آزمایشهای فیزیکی نشان دهندهٔ تأثیر خصوصیات شیمیائی مایع روزنه‌ای بر رفتار خاک است. همان طور که در بالا آمد، تغییر رفتار خاک می‌تواند ناشی از تغییر نیروی بین ذرات رس و در نتیجه تغییر نحوهٔ قرارگیری و آرایش سطوح رسی باشد. برای تحقیق تغییر ساختار ایجاد شده در خاک، از هر یک از نمونه‌ها در غلظتی از نمک که بیشترین تغییرات را در خصوصیات فیزیکی (حد آبگونی) ایجاد کرده بود، نمونه‌هایی برای آزمایش SEM تهیه شدند. برای ارزیابی تأثیر نمکهای اضافه شده بر ساختار کلی پولکهای رسی، بیشتر عکسهای SEM با بزرگ‌نمائی کم تهیه شدند.

در شکل ۲ تصویر SEM بنتونیت مورد مطالعه در حالت نمونهٔ تهیه شده با آب مقطر و در شکل ۳- الف نیز بنتونیت حاوی نمک کلرید سدیم در غلظت meq/lit ۵ از نمک ارائه شده است. لازم به ذکر است که غلظت اخیر متناظر با بیشترین افزایش حد آبگونی در زمان اضافه کردن نمک کلرید سدیم به خاک است. مقایسهٔ این تصاویر نشان می‌دهد که فضای خالی میان پولکهای رسی در نمونه‌ای با غلظت نمک ذکر شده بیش از نمونهٔ تهیه شده با آب مقطر است که می‌تواند ناشی از افزایش نیروهای دافعه بین ذرات رسی در حالت غلظت کم الکترولیت باشد [۱۵]. تصویر SEM شکل ۳- ب نیز نمونهٔ بنتونیت حاوی غلظت meq/lit ۱۰۰ نمک کلرید سدیم را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با توجه به افزایش قابل ملاحظهٔ غلظت الکترولیت، نیروهای دافع بین ذرات کاهش یافته است که موجب نزدیک شدن سطوح رسی به یکدیگر و لخته شدن ساختار و در نتیجه ایجاد روزنه‌های بزرگ ماکروسکوپی در ساختار خاک شده است. مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که ضریب نفوذپذیری در چنین حالتی به شدت افزایش می‌یابد [۲]، که با در نظر گرفتن لزوم پایین بودن نفوذپذیری خاک در طرحهایی نظیر لایه‌های محافظ مراکز دفن زباله و نیز هستهٔ رسی سدهای خاکی، تغییر ساختار ناشی از تغییر مشخصات شیمیایی مایع روزنه‌ای خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود [۲۰].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]



شکل ۲ تصویر SEM نمونه بنتونیت تهیه شده با آب مقطر.



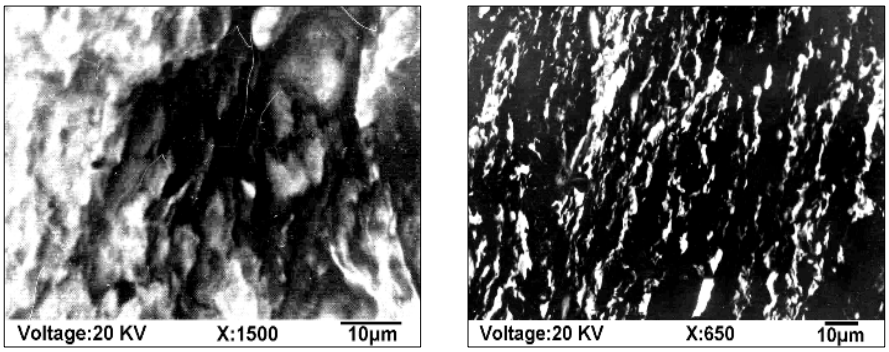
***(الف)** بنتونیت همراه با ۵ meq/L نمک NaCl* ***(ب)** بنتونیت همراه با ۱۰۰ meq/L نمک NaCl*

شکل ۳ نتایج SEM بنتونیت به همراه نمک NaCl.

تصاویر SEM در شکل ۴ تأثیر نمک Na_2CO_3 در غلظت‌های ۲۵ و ۱۰۰ meq/lit بر ساختار خاک بنتونیتی مورد بررسی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در نمونهٔ تهیه شده با غلظت ۲۵ meq/L لیتر (غلظتی که بیشترین حد آبگونی در آن بدست آمده است)، ساختار به شدت پراکنده شده است، به طوری که شاهد یک افزایش پراکندگی ساختار خاک در مقایسه با نمونهٔ تهیه شده با غلظت ۵ meq/L از نمک NaCl در شکل ۳-الف هستیم. این تغییر ساختار را نیز می‌توان به تغییر نیروهای الکترواستاتیکی بین پولکهای خاک رس نسبت داد. تفاوت قابل توجه در ساختار پراکندهٔ دو نمونهٔ شکل ۳-الف و ۴-الف می‌تواند ناشی از حضور آنیون کربنات

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

و افزایش بیشتر نیروهای دافعه بین سطوح رسی و در نتیجه جذب قابل توجه آب (نتایج آزمایش حد آبگونی) در این غلظت از نمک باشد [۲۱]. علاوه بر این، با مقایسهٔ تفاوت‌های ساختار مربوط به خاک بنتونیت در استفاده از نمک کلرید سدیم و کربنات سدیم در شکلهای ۳ و ۴، تأثیر نوع آنیون بر ساختار خاک مشخص می‌شود. به طوری که نمکهای حاوی آنیون تغییر دهندهٔ پتانسیل سطحی رس (مثل CO_3) نه تنها در غلظتهای بیشتر سبب پراکندگی خاک می‌شوند، بلکه شدت پراکندگی نمونهٔ خاک نیز در حضور این نمکها بیشتر است.

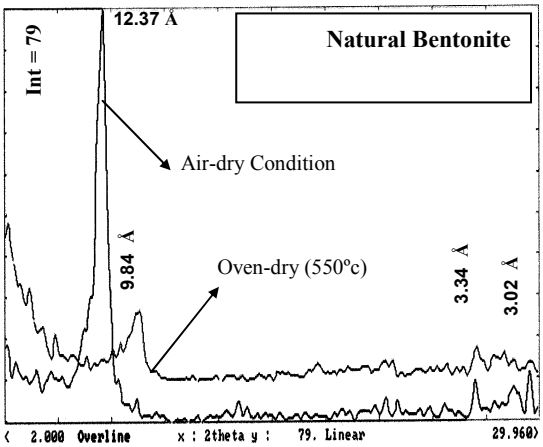


(الف) بنتونیت حاوی ۲۵ meq/L نمک Na_2CO_3 *(ب) بنتونیت حاوی ۱۰۰ meq/L نمک Na_2CO_3*

شکل ۴ نتایج SEM بنتونیت به همراه نمک Na_2CO_3.

آزمایشهای XRD

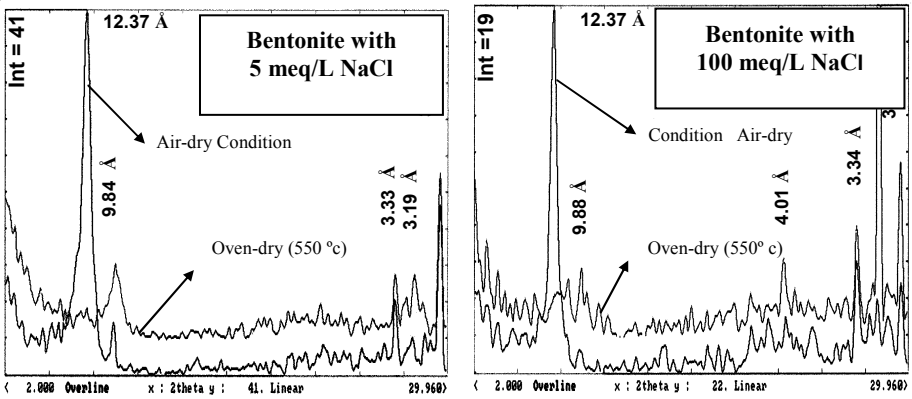
برای شناسایی حضور احتمالی میزان کائولینیت درنمونهٔ بنتونیت مورد مطالعه، نمونهٔ خاک پس از خشک شدن در دمای اتاق و نگهداری در دمای ۵۵۰°C، مورد آزمایش XRD قرار گرفت. با توجه به شکل ۵، قلهٔ Å ۱۲٫۳۷ شدیدتر از سایر قله‌هاست که نشان دهندهٔ حضور قابل توجه کانی مونت‌موریلونیت در این خاک است [۱ و ۱۰]. از آنجا که نتایج XRD تا حدودی نشان دهندهٔ فاصله بین صفحات کانی‌های رسی است لذا تغییر نتایج این آزمایش در مورد یک خاک مشخص نشان دهندهٔ تغییر شرایط ریز ساختاری خاک خواهد بود. از این رو، به منظور ارزیابی کاملتر تأثیر حضور الکترولیت بر ریزساختار خاک رسی، نمونه‌های مخلوط بنتونیت با غلظت‌های الکترولیت فوق، به روش XRD مورد بررسی قرار گرفتند.



[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

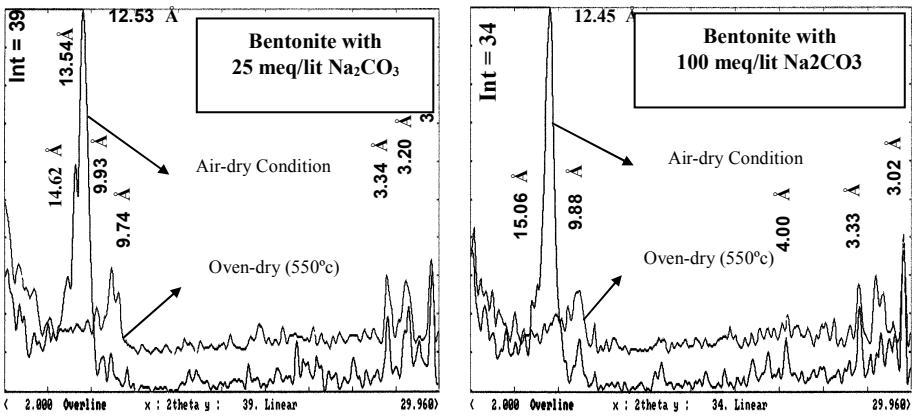
شکل ۵ نتایج آنالیز XRD خاک بنتونیت مورد مطالعه.

بر اساس شکل ۶، در نمونهٔ خاک بنتونیت حاوی غلظتهای meq/lit ۵ و meq/lit ۱۰۰ از نمک کلرید سدیم، شدت قلهٔ پراشی پرتو ایکس نمونه در مقایسه با خاک حاوی آب مقطر در شکل ۵ تغییر قابل توجهی نشان نمی‌دهد. در حالی که با توجه به شکل ۷ در نمونهٔ بنتونیت حاوی نمک کربنات سدیم، شدت قلهٔ پراشی (در هر دو نمونهٔ خشک شده در دمای اتاق و خشک شده در دمای کوره) نسبت به نمونهٔ تهیه شده با آب مقطر تغییرات قابل توجهی نشان می‌دهد. به عنوان مثال، در غلظت meq/lit ۲۵ از نمک کربنات سدیم، قلهٔ Å ۱۲٫۳۷ به Å ۱۲٫۵۳ جابجا شده است که نشان دهندهٔ افزایش فاصلهٔ بین سطوح رسی (ایجاد ساختار پراکنده) است، و بیان کنندهٔ تأثیر تغییر مشخصات شیمیایی مایع روزنه‌ای بر نحوهٔ قرارگیری پولکهای رسی است.



[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

شکل ۶ نتایج آنالیز XRD خاک بنتونیت مورد مطالعه همراه با نمک NaCl.



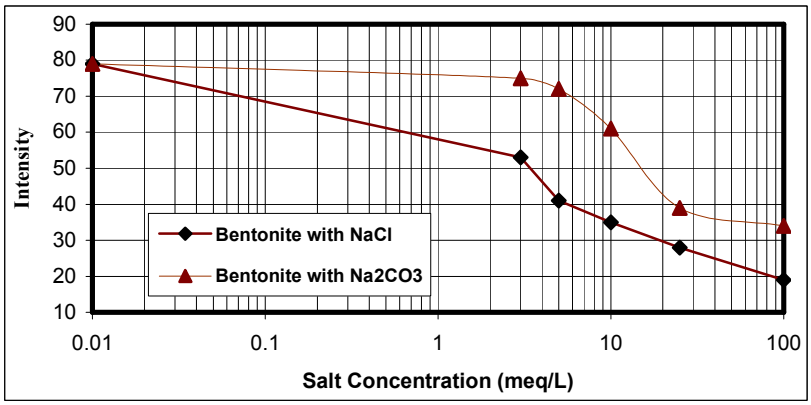
شکل ۷ نتایج آنالیز XRD خاک بنتونیت مورد مطالعه همراه با نمک Na_2CO_3.

همچنین، با افزایش غلظت الکترولیت، شدت قلهٔ اصلی از ۷۹ در نمونهٔ بنتونیت تهیه شده با آب مقطر در شکل ۵، به ۴۱ در نمونهٔ بنتونیت حاوی meq/lit ۵ نمک کلرید سدیم در شکل ۶، و به ۳۹ در نمونهٔ بنتونیت حاوی meq/lit ۲۵ نمک کربنات سدیم در شکل ۷ تغییر می‌کند. تغییر شدت قله‌های پراشی بر حسب غلظت هر یک از دو نمک در شکل ۸ ترسیم شده است. مشاده می‌شود که، با افزودن نمک به خاک، شدت قله‌های اصلی طرح XRD خاک به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد که مؤید تغییر نیروهای بین ذره‌ای پولکهای رسی با تغییر مایع روزنه‌ای است. مطالعهٔ نمونه‌های خاک حاوی نمک‌های کربنات و کلرید سدیم نیز نشان می‌دهد که این کاهش شدت، با استفاده از نمکی با منشا آنیونی تغییر دهندهٔ پتانسیل سطحی رس (مثل CO_3) کمتر است. از سوی دیگر ثابت ماندن قلهٔ پراشی اصلی در نمونهٔ حاوی نمک NaCl (شکل ۶) در مقایسه با نمونهٔ بنتونیت فاقد الکترولیت اضافی (شکل ۵)، و نیز کاهش شدت قلهٔ اصلی در شکل ۶ در مقایسه با طرح پراشی شکل ۵ نشان می‌دهد که حضور الکترولیت نمک طعام موجب ایجاد ساختار پراکنده در خوشه‌های پولکهای رسی شده است. تشکیل این خوشه‌ها باعث کاهش شدت قلهٔ اصلی نسبت به نمونهٔ فاقد الکترولیت نمک طعام می‌شود. علاوه بر این، در نمونه‌های حاوی الکترولیت Na_2CO_3، به این دلیل که یون CO_3 از جملهٔ آنیون‌هایی با قابلیت تغییر پتانسیل سطحی رس است [۱۴ و ۱۵]، نفوذ آن در لایه‌های

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

رس باعث افزایش شدت قلهٔ پراشی اصلی خاک می‌شود. این در حال است که کاهش شدت قلهٔ نمونه‌های حاوی Na_2CO_3 در مقایسه با خاک فاقد الکترولیت، ناشی از تأثیر تجمع کاتیون‌ها بر شکل دادن خوشه‌های رسی است. ولی از آنجا که تأثیر حضور آنیون تغییر دهندهٔ پتانسیل سطحی رس، موجب تجمع بار منفی اضافی در سطح پولک رسی می‌شود، اثر شکل‌گیری خوشه‌های پراکنده بر کاهش شدت قله به میزان نمونه‌های حاوی نمک NaCl نبوده است. شدت نسبتاً یکسان قله‌ها در شکل‌های ۶ و ۷ برای غلظت‌های ۵ و meq/lit ۲۵ نمک، تأیید کنندهٔ نتایج این بررسی‌هاست.

در مجموع با در نظر گرفتن جابجایی قله‌های پراشی XRD و تغییر شدت آنها، می‌توان نتیجه گرفت که خصوصیات ریزساختاری خاک به طور مؤثری تابع مشخصات شیمیایی مایع روزنه‌ای و نوع آنیون موجود در آن است، که با توجه به ارتباط قابل ملاحظهٔ خصوصیات رفتاری و مهندسی خاک با ریزساختار آن، توجه به این تغییرات در طرحهای مهندسی اهمیت دارد.



شکل ۸ تأثیر غلظت الکترولیت و نوع آنیون بر شدت قلهٔ اصلی در طرح پراش پرتو ایکس خاک بنتونیت

برداشت

مهمترین نتایج حاصل از آزمایشهای فیزیکی و ریزساختاری به شرح زیرند:

- نتایج آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان دهندهٔ تأثیر مشخصات شیمیائی مایع روزنه‌ای بر ساختار ریزبافت خاک است.
- نتایج آزمایشهای XRD نشان می‌دهد که ریزساختار خاک علاوه بر نوع کانیهای رسی تشکیل دهندهٔ آن، متأثر از مایع روزنه‌ای و نوع آنیون موجود در خاک است. به طوری که، قلهٔ پراشی خاک با تغییر غلظت نمک جابجا شده و شدت قلهٔ اصلی نیز به طور قابل توجهی با افزایش غلظت الکترولیت کاهش می‌یابد. در غلظت meq/lit ۲۵ نمک کربنات سدیم (حداکثر پراکندگی نمونه)، قلهٔ اصلی از Å ۱۲٫۳۷ به Å ۱۲٫۵۳ جابجا می‌شود که نشان دهندهٔ افزایش

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

فاصله بین سطوح رسی (ایجاد ساختار پراکنده) است و تأثیر مشخصات شیمیایی مایع روزنه‌ای بر نحوهٔ قرارگیری پولکهای رسی را نشان می‌دهد. این امر می‌تواند ناشی از تأثیر حضور آنیون‌های تغییر دهندهٔ پتانسیل سطحی ذرهٔ رسی باشد.

- آزمایشهای فیزیکی و ریزساختاری علاوه بر تأیید تأثیر افزایش غلظت الکترولیت (حضور کاتیون سدیم) بر خصوصیات رفتاری و ریزساختاری خاک، نشان دهندهٔ تأثیرپذیری این مشخصات از نوع آنیون موجود در مایع روزنه‌ای خاک نیز هست. در این راستا نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در نمونهٔ بنتونیت حاوی نمک کلرید سدیم، بیشینهٔ حد آبگونی در غلظت ۵meq/lit، و در نمونهٔ بنتونیت حاوی نمک کربنات سدیم در غلظت ۲۵ meq/lit رخ داده است. میزان حد آبگونی در نمونهٔ بنتونیت با کربنات سدیم، نسبت به نمونهٔ حاوی نمک کلرید سدیم نیز افزایش بیشتری نشان می‌دهد. که می‌تواند ناشی از اتصال شیمیایی آنیون‌هایی مانند کربنات به سطوح ذرات رسی و افزایش بار منفی روی این سطوح (تغییر پتانسیل جذب سطحی رس) باشد.

مراجع

[1] Mitchell J.K., *"Fundamentals of soil behaviour"*, John Wiley & Sons (1993) pp. 422.

[2] Sivapullaiah P.V., *"Pollution Effects on Soil Geotechnical Properties"*, Proceeding of the First International Conference on Geotechnical, Geoenvironmental Engineering and Management in Arid Lands, Al-Ain, United Arab Emirates (2000) pp. 99-106.

[3] Soule N.M., Burns S.E., *"Effects of organic cation structure on behaviour of organobentonites"*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Vol. ??? (2001) pp. 363-369.

[4] Sridharan A., Rao G.V., *"Mechanism controlling volume change of saturated clays"*, Geotechnique **23(3)** (1973) pp. 359-382.

[5] Bolt G.H., "Physico-chemical analysis of the compressibility of pure clays", Geotechnique **6(2)** (1956) pp. 86-93.

[6] Chen J., Anandarajah A., Inyang H., *"Pore fluid properties and compressibility of kaolinite"*, J. Geotech. & Geoenviro. Engng. Div., ASCE, No. **9** (2000) pp. 798-807.

[7] Olson R.E., Mesri G., *"Mechanism controlling compressibility of clays"*, J. Soil Mech. & Found. Engng. Div., ASCE **6(11)** (1970) pp. 1863-1878.

[8] Di Maio C., *"Exposure of bentonite to salt solution, osmotic and mechanical effects"*, Geotechnique **46(4)** (1996) pp. 695-707.

[9] Nikudel M.R., *"An investigation of thixotropy and cementation effects on mechanical behaviour of hypersaline water fine grain sediments, Case study of Urumia lake"*, PhD Thesis, Tarbiat Modarres University (2001) p. 501.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]

[10] Yong R.N., *"Overview of modeling of clay microstructure and interactions for prediction of waste isolation barrier performance"*, Eng. Geology, **54** (1999) pp. 83-91.
[11] Güler C., Balci E., *"Effect of some salts on the viscosity of slip casting"*, Applied Clay Science **13** (1999) pp. 213-218.
[12] Ouhadi V.R., Goodarzi A.R., *"Pore fluid characteristics effect on the dispersivity behaviour of soil from macro and micro structure aspects"*, Proceedings of the 2nd International Symposium on Contaminated Sediments, ASTM: *"Characterization, Evaluation, Mitigation/Restoration, Monitoring and Performance"*, May 26-28, 2003, Quebec, Canada (2003) pp. 562-570.
[13] Barone F., *"Description of diffusion and adsorption coefficient used for modeling contaminant migration through clayey soils"*, Geotech. News, **11** (1993) pp. 47-50.
[14] Koch D., *"Bentonite as a basic materials for technical base liners and site encapsulation cut-off walls"*, Applied Clay Sci. **21** (2002) pp. 1-11.
[15] Yong R.N., Mohamed A.M.O., Warkentin B.P., *"Principles of contaminant transport in soils"*, Elsevier (1992) p. 327.
[16] Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia Vol. **4** (1992) 08.
[17] Barden L., Sides G., *"Sample disturbance in the invenstigation of clay structure"*, Geotechnique **21** (1971) pp. 211-222.
[18] Moore D.M., Reynolds R.C., *"X-ray Diffraction and Identification and Analysis of Clay Minerals"*, Oxford University Press, New York (1989).
[19] Yong R.N., *"Geoenvironmental engineering: Contaminant soils, pollutant fate and mitigation"*, CRC Press LLC. (2001) pp. 307.
[20] Yong R.N., *"The impact of clay micro structural features on the natural attenuation of contaminants"*, Workshop on clay microstructure, Sweden (2002) pp. 234-244.
[21] Yong R.N., *"Influence of microstructural features on water, ion diffusion and transport in clay soils"*, Proc., Clay Microstructure and its Importance to Clay Behavior, Lund, Sweden (2002) pp. 1-14.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-10-12]