بررسی ریزساختاری تأثیر نوع کانی رسی بر رفتار واگرایی خاک‌های رسی

حامد بایسته*
استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم.
پست الکترونیک:
h.bayesteh@qom.ac.ir

اگرچه تصور بر این است که خاک‌های واگرا ممکن است باعث برخی مشکلات ژئوتکنیکی شوند، ولی در پروژه‌های ژئوتکنیکی زیست‌محیطی، این خاک‌ها ممکن است به‌عنوان مصالحی با جذب بالای آلودگی به سبب سطح مخصوص بالا و نیز تماس مستقیم پولک‌های رس با آب حفره‌ای استفاده شوند. به‌سبب این کاربرد محیط‌زیستی، استفاده از رس‌های دارای ساختار واگرا در بسیاری از پروژه‌های دفن زباله مرسوم می‌باشد. مطالعه حاضر، اثر غلظت آب حفره‌ای را در رفتار واگرایی کانی‌های رسی شامل بنتونیت، ایلیت و کائولینیت بیان می‌دارد. همچنین رفتار واگرایی کانی‌های رسی در آزمایش‌های مختلفی به‌منظور تعیین نحوه مکانیزم واگرایی این کانی‌ها بررسی شده است. در مجموع، نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که نوع کانی‌های رسی تعیین‌کننده میزان نمک مورد نیاز برای واگرا کردن ساختار آن می‌باشد. این تغییر رفتار از دیدگاه ریزساختاری اهمیت بسزایی دارد و بایستی برای شناخت کامل رفتار از نظر ریزساختاری تحلیل گردد.

واژگان کلیدی: کانی‌های رسی، واگرایی، ریزساختاری.

۱- مقدمه

خاک‌های رسی به‌علت داشتن ظرفیت بالای نگهداری آلودگی و نیز نفوذپذیری پایین، به‌عنوان مصالحی مناسب در بستر مراکز دفن زباله استفاده می‌شوند [۱]. همچنین خاک‌های با ساختار واگرا در GCL[1]ها استفاده زیادی دارند [۲]. عامل اصلی استفاده از رس‌ها با ساختار واگرا در مراکز دفن زباله، به سبب دارا بودن سطح مخصوص بیشتر و ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر ناشی از تماس بیشتر پولک‌ها با آب حفره‌ای می‌باشد [۳]. لذا تهیه کانی‌های رسی با سطح مخصوص بالا و ساختار واگرا، امری مهم و موردنظر محققین حوزه ژئوتکنیک زیست‌محیطی بوده است. از طرفی، مطالعات نشان می‌دهد که در غلظت‌های کم‌نمک به‌عنوان مشخصات شیمیایی آب حفره‌ای، ساختار رس واگرا می‌شود [۴-۶]. براین‌اساس، انتظار می‌رود که استفاده از خاک‌های واگرا در بستر مراکز دفن زباله، ظرفیت نگهداری آلاینده‌ها در رس‌ها را افزایش دهد و در این راستا دانستن غلظت نمک واگراکننده ساختار خاک به‌منظور آماده کردن این نمونه‌ها در کانی‌های مختلف رسی ضروری به‌نظر می‌رسد. آزمایش‌های مختلفی برای تعیین پتانسیل واگرایی همانند آزمایش پین‌هول یا هیدرومتری دوگانه وجود دارد که عملکرد تأثیر نوع کانی‌های رسی در این آزمایش‌ها بر واگرا شدن ساختار به‌خوبی شناخته شده نمی‌باشد [۷]. همچنین، تغییر ریزساختار کانی‌های رسی در حالت واگرا شدن کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله، سعی بر تعیین غلظت نمک مورد نیاز برای واگرا ساختن کانی‌های مختلف رسی و مقایسه آنها از لحاظ تغییر ریزساختارشان در آزمایش‌های مختلف واگرایی می‌باشد. همچنین با

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۳/۱۳، پذیرش ۱۳۹۵/۸/۳.

[1]- Geosynthetic Clay Liner

انجام آزمایش‌های تأییدی همانند کدورت‌سنجی و تعیین حد روانی، رفتار خاک در ساختارهای مختلف مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی آزمایشگاهی تأثیر کانی‌های رسی بر رفتار واگرایی، از سه کانی ایلیت[۲]، کائولینیت[۳] و مونتموریلونیت[۴] استفاده شده است. لازم به ذکر است، کانی مونتموریلونیت بیش از ۹۰ درصد کانی تشکیل‌دهنده بنتونیت است و برای انجام عملیات آزمایشگاهی و اجرایی، از بنتونیت استفاده می‌شود. این کانی‌ها به‌عنوان نماینده، بازه وسیعی از کانی‌های رسی شناخته شده هستند. ایلیت مورد استفاده در این پژوهش، خاکی خاکستری رنگ بوده که حاصل از پودرشدن صدف‌های قدیمی اقیانوسی سواحل کانادا می‌باشد. از این نمونه خاک در بسیاری از تحقیقات انجام شده در دانشگاه بوعلی سینا استفاده می‌شود و از نتایج آن تحقیقات بهره گرفته شده است [۸]. کائولینیت مورد استفاده به‌صورت پودری سفید مایل به‌شیری رنگ بوده که از منطقه‌ی زنوز تبریز جمع‌آوری شده و تحت عنوان کائولینیت سوپر شناخته شده است. بنتونیت تجاری مورد استفاده با نام «بنتونیت فلات ایران» می‌باشد که از شرکت تجاری ایران‌باریت تهیه شده است. این بنتونیت، به‌صورت پودری سفید رنگ مایل به شیری دیده می‌شود. به‌منظور جلوگیری از تغییر درصد رطوبت طبیعی، این مواد در ظروف پلاستیکی دربسته به‌صورت کاملاً محفوظ نگهداری می‌شود. در جداول زیر مقادیر مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه ارائه شده است [۸].

عموماً نتایج تحقیقات مختلف نشان‌دهنده آن است که پدیده واگرایی در غلظت‌های کم‌نمک اتفاق می‌افتد که البته نوع کانی رسی در این راستا بسیار مهم می‌باشد. به‌طوری‌که برای انواع مونتموریلونیت در غلظتی حدود ۲ تا ۲۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر از نمک کلرید سدیم حداکثر حالت پراکندگی را ایجاد می‌کند [۹]. برای پاسخ به این سوال که چه غلظتی از نمک جهت واگرا ساختن خاک لازم است از دو روش زیر استفاده شده است. در روش اول، ابتدا از هر نمک، محلول‌هایی با غلظت‌های متفاوت تهیه و سپس خاک لازم با نسبت (۱:۵۰) به آنها اضافه می‌شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت و رسیدن به حالت تعادل هریک از نمونه‌ها تحت آزمایشی شبیه هیدرومتری دوگانه قرار گرفته‌اند. به این ترتیب، برای یک خاک مشخص در ازای نمک‌های متفاوت و در غلظت‌های مختلف چندین نمودار توزیع ذرات خواهیم داشت. در روش دوم، نمونه‌ها درون لوله‌های سانتریفوژ با نسبت (۱:۵۰) از محلول‌هایی با غلظت مشخص خاک تهیه و به مدت ۲ ساعت در دستگاه تکان‌دهنده قرار می‌گرفت. پس از گذشت ۲۴ ساعت و رسیدن به تعادل، نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ می‌شدند. بعد از این مرحله، محتوی هر تیوپ را درون شیشه‌های مخصوص آزمایش کدورت‌سنجی ریخته و میزان عدد کدورت محلول قرائت شده است. جهت تعیین میزان عدد کدورت در محلول از دستگاه کدورت‌سنج مدل (WTW-Turb550) دانشگاه بوعلی‌سینا استفاده شده است. در واقع، میزان کدورت یا تیرگی هر محلول مرتبط با توانایی خاک جهت باقی ماندن در حالت تعلیق پایدار یا سوسپانسیون خواهد بود [۹]. در این آزمایش‌ها با هدف اندازه‌گیری میزان جذب سدیم توسط خاک از دستگاه جذب اتمی مدل (GBC-932 Plus) موجود در دانشگاه بوعلی‌سینا استفاده گردیده است [۸].

برای بررسی پتانسیل واگرایی کانی‌ها در آزمایش سوراخ سوزنی[۵] هرکدام از کانی‌ها را ابتدا با مقدار مشخصی آب در حد درصد بهینه مخلوط کرده و آنها را به مدت ۲۴ ساعت در ظروف دربسته پلاستیکی نگهداری

[2]- Illite
[3]- Kaolinite
[4]- Montmorilonite

[5]- Pinhole

شده است. سپس نمونه‌ها را در دستگاه هاروارد و طبق روش آیین نامه ASTM به تراکم مناسب رسیده‌اند. در ادامه نمونه‌ها را در دستگاه سوراخ سوزنی قرار گرفته و مطابق استاندارد آزمایش بر روی آنها انجام شده است. برای بررسی اثر غلظت‌های مختلف بر روی پتانسیل واگرایی و نیز بررسی این واقعیت در کانی‌های مختلف، نمونه خاک در درون دستگاه قرار داده شده و یکبار با آب مقطر و چند مورد دیگر در مجاورت غلظت‌های مختلف نمک قرار گرفته است. ادامه آزمایش پین‌هول طبق آیین‌نامه شروع و طبق ظوابط آن خاتمه می‌پذیرفت.

جدول ۱- مشخصات کانی‌های مورد استفاده [۸].

Characteristic of Ilite	Quantity measured
Liquid limit(%)	27.5
P.I(%)	8.4
TDS(cmol/kg)	2.11
CEC(meq/100gr)	46.4
EC(ds/m)(1:10 soil-water)	0.2
PH(1:10 soil-water)	8.6
Soil Clasification	CL
GS	2.67
Carbonate%	9%
Characteristic of Kaolinite	Quantity measured
Liquid limit(%)	24.1
P.I(%)	11.2
CEC(meq/100gr)	13.6
PH(1:10 soil-water)	9.05
SSA(m^2/gr)	61
GS	2.75
Carbonate%	4%
Characteristic of Bentonite	Quantity measured
Plasticity index	314.5
SSA(m^2/gr)	418
CEC(cmol/kg)	68.2
EC(ds/m)(1:10 soil-water)	0.64
PH(1:10 soil-water)	10
Soil Clasification	CH
GS	2.67-2.79
Carbonate%	8%

آزمایش‌های فوق به‌منظور تعیین میزان نمک لازم برای واگرا ساختن ساختار کانی‌های مختلف رسی تنظیم شده‌اند. در ادامه به‌منظور ارزیابی نتایج حاصله از آزمایش‌های فوق، از آمایش جذب اتمی و نیز آزمایش حد روانی استفاده شده است. بدین ترتیب که در ساختارهای مختلف کانی‌ها، آزمایش جذب اتمی و حد روانی انجام شده تا تأثیر ساختار واگرا بر رفتار آشکار گردد.

جهت تعیین اثر خصوصیات شیمیایی (شامل تأثیر نوع کاتیون‌ها و آنیون‌ها) بر مشخصات فیزیکی خاک از جمله حد روانی، نمک‌های مورد نظر در نسبت‌های مختلف وزنی و با درصد رطوبتی در حدود حد روانی به خاک اضافه شده و به مدت یک هفته در ظروف پلاستیکی دربسته رها شدند. سپس طبق آیین‌نامه ASTM نتایج تهیه و ترسیم شدند. به‌منظور تعیین میزان نمک لازم جهت واگرایی، لازم است ظرفیت تبادل کاتیونی و نوع کاتیون در هر مرحله کنترل شود. ظرفیت تبادل کاتیونی[۶] نمونه‌ها با جایگزینی کلرید باریم با استفاده از روش توصیه شده در مراجع تعیین شده است [۱۰ و ۱۱]. برای کنترل میزان واگرایی ساختار، از آزمایش تعیین حد روانی و نیز میزان جذب سدیم استفاده

[6]- Cation Exchangeable Capacity(CEC)

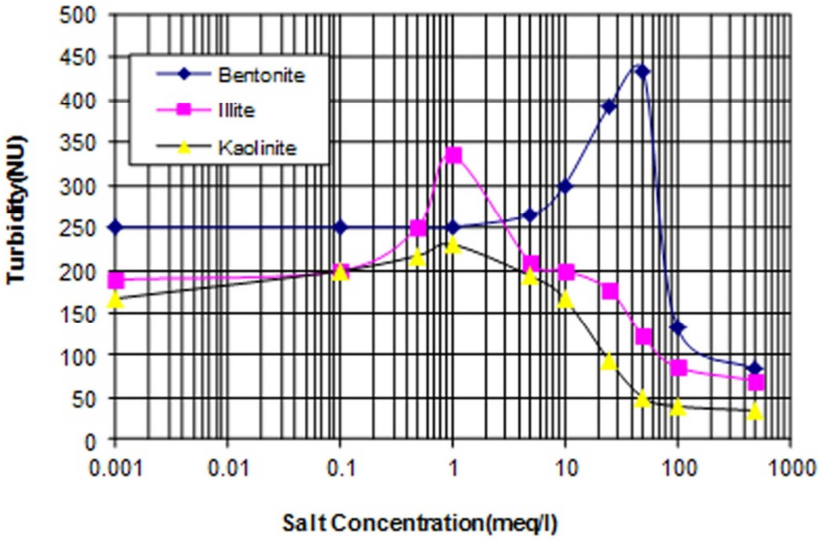
شده است. چراکه عامل اصلی واگرایی، حضور یون سدیم در بین لایه دوگانه رسی می‌باشد.

۳- بحث و بررسی نتایج

در شکل ۱، نتایج آزمایش کدورت‌سنجی را بر روی کانی‌های مختلف رسی در شرایط یکسان ارائه شده است. کدورت بیشتر آب به معنای پراکندگی تعداد بیشتری از ذرات و واگرایی بیشتر ساختار می‌باشد. همان‌طور که از این شکل مشخص است، با افزایش غلظت نمک Na_2SO_4 در آب حفره‌ای، درصد پراکندگی ذرات رس افزایش یافته تا به یک حد بالایی برسد و پس از آن کاهش می‌یابد. این درصد پراکندگی که نمایانگر بیشترین فاصله بین پولک‌های رسی می‌باشد، برای کانی‌های مختلف رسی متفاوت می‌باشد.

همان‌طور که از اعداد محور افقی مشخص می‌شود، مقدار نمک مورد نیاز برای واگرا ساختن بنتونیت، ایلیت و کائولینیت به‌ترتیب برابر ۵، ۱و ۰/۳ میلی‌اکی‌والان‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین مقدار عدد قرائت شده کدورت محلول و به‌دنبال آن شدت پراکندگی کانی‌های رسی نیز در روی محور قائم نشان داده شده است که در کانی‌های متفاوت یکسان نبوده و برای بنتونیت نسبت به ایلیت و کائولینیت بیشتر می‌باشد. این پدیده به‌علت تفاوت ظرفیت تبادل کاتیونی در این کانی‌ها می‌باشد. بنتونیت که ظرفیت تبادل یونی بیشتری دارد، مقدار نمک زیادتری را برای واگرا شدن ساختار خود نیاز دارد. از طرفی، با توجه به وجود نیروهای ضعیف واندروالس در بنتونیت که عامل جذب ذرات به سمت هم هستند، در غلظت پیک واگرایی مقدار بیشتری از ذرات به حالت تعلیق درمی‌آید.

با افزایش بیشتر غلظت نمک، به‌علت کاهش ضخامت لایه دوگانه، ساختار خاک درهم می‌شود و در محلول به حالت تعلیق نمی‌ماند. در کاربرد خاک‌های واگرا، داشتن غلظت نمک بحرانی برای واگرا ساختن ساختار مهم می‌باشد [۱۲]. این مهم، را از نتایج این نمودار می‌توان به‌دست آورد و استخراج نمود.

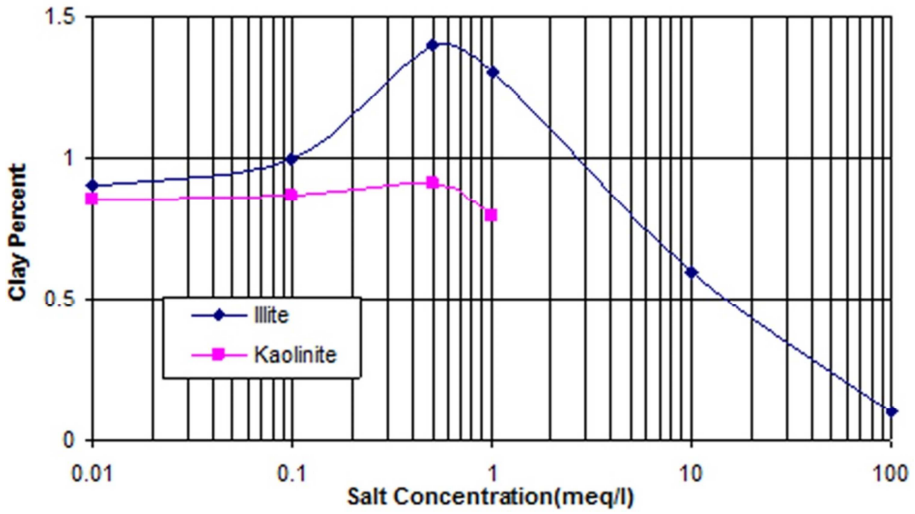


شکل ۱- تغییرات پراکندگی کانی‌های رسی با افزایش نمک Na_2SO_4 حاصل از آزمایش کدورت‌سنجی [۸].

همچنین با حضور آنیون‌های فعال مانند SO_4 و به‌دلیل افزایش بار سطوح رسی، میزان جذب سدیم نسبت به آنیون‌های با جذب فیزیکی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته است. بنابراین، می‌توان انتظار داشت با حضور آنیون‌های فعال، میزان تمرکز سدیم‌های موجود در لایه دوگانه بیشتر شده و در نهایت، پتانسیل پراکندگی ذرات افزایش می‌یابد که نتایج آزمایش کدورت‌سنجی، تأییدکننده این استدلال است.

شکل ۲ نتایج آزمایش هیدرومتری دوگانه را بر روی سه کانی ذکر شده بیان می‌دارد. همان‌طور که مشاهده

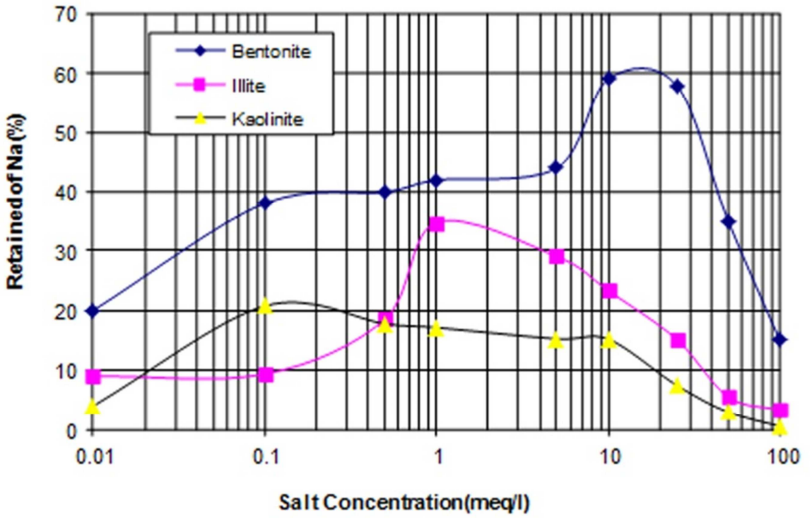
می‌شود، در این آزمایش نیز غلظت نمک بحرانی برای واگرا ساختن خاک مطابق نتایج آزمایش کدورت‌سنجی می‌باشد. ولی همان‌طور که مشاهده می‌شود در غلظت‌های بالای نمک، عدد خاصی برای کانی کائولینیت قرائت نشده است، چراکه این خاک ذاتاً دارای مقادیری کربنات می‌باشد و زمانی که غلظت نمک موجود در آب حفره‌ای افزایش پیدا می‌کند، به‌علت درهم شدن و سنگین‌تر شدن ذرات، به سرعت در روند انجام آزمایش ته‌نشین می‌شوند و نمی‌توان مقادیری برای ذرات کوچک‌تر از ۵ میکرون به‌دست آورد. همچنین از نمودار مشاهده می‌شود که درصد رس باقی‌مانده در حالت تعلیق در بنتونیت بیشتر از بقیه و در حدود ۱/۵ درصد بوده است که بیانگر خاصیت جذب و ظرفیت تبادل کاتیونی بالای این کانی می‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که هرچه درصد حضور این کانی در خاک بیشتر باشد، پتانسیل واگرا شدن ساختار آن افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۲- تغییرات پراکندگی کانی‌های رسی با افزایش نمک Na_2SO_4 حاصل از آزمایش هیدرومتری دوگانه.

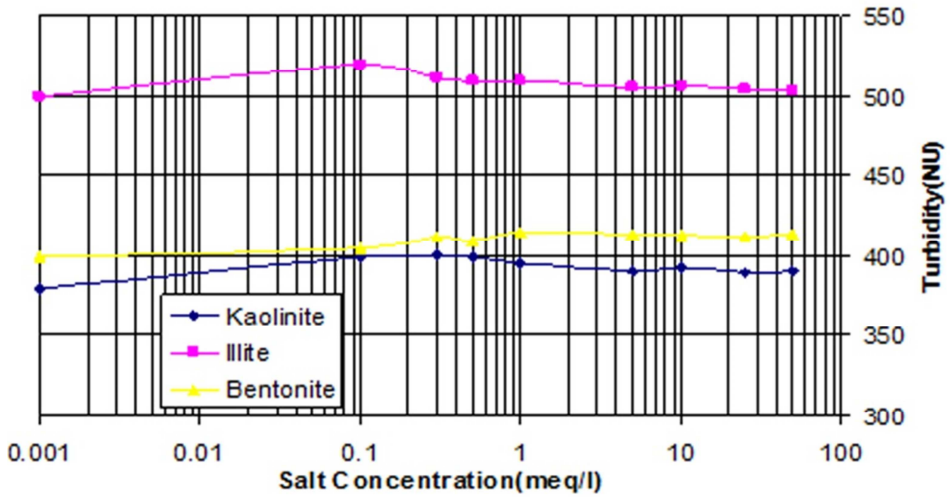
به‌منظور تأیید نتایج حاصل شده در آزمایش‌های فوق، از آزمایش جذب اتمی استفاده شده است. شکل ۳ تغییرات جذب سدیم توسط کانی‌های رسی را با افزایش غلظت سدیم بیان می‌دارد. از این شکل مشاهده می‌شود، در غلظتی از نمک که حداکثر پراکندگی در آزمایش هیدرومتری و کدورت‌سنجی رؤیت شده است، بیشترین مقدار جذب سدیم توسط خاک وجود دارد. به‌عبارت دیگر، در خاک‌های مورد مطالعه با توجه به مکانیزم‌های متفاوت واگرایی، علت افزایش پراکندگی ذرات ناشی از جذب کاتیون سدیم در بین پولک‌های رسی اتفاق افتاده است [۱۳]. همچنین مقدار جذب سدیم توسط بنتونیت بیشتر از ایلیت و کائولینیت بوده که به این دلیل، قابلیت واگرایی آن بیشتر می‌باشد.

همان‌طور که در شکل‌ها می‌توان دید، در هر دو کانی ایلیت و کائولینیت در حضور نمک سولفات سدیم، در غلظت‌های کم‌نمک پراکندگی افزایش و سپس دچار کاهش شده است. این امر به‌علت جانشین شدن سدیم به‌جای هیدروژن در لایه دوگانه رس می‌باشد و چون سدیم شعاع هیدراته بزرگتری نسبت به هیدروژن دارد، این جانشینی سبب افزایش ضخامت لایه دوگانه شده و ساختار خاک را پراکنده می‌کند [۱۴].



شکل ۳- نتایج بررسی تغییرات میزان جذب سدیم در کانی‌های مختلف رسی با استفاده از دستگاه جذب اتمی.

در اشکال ۴ و ۵ نتایج آزمایش سوراخ‌سوزنی بر روی کانی‌های رسی آورده شده است. با توجه به استاندارد ASTM، تمامی این خاک‌ها در مراحل انجام آزمایش واگرا نشان داده‌اند. بنابراین، از روی نتیجه نهایی این آزمایش که همانا واگرا بودن یا نبودن می‌باشد، نمی‌توان به بررسی تغییر رفتار واگرایی در غلظت‌های مختلف نمک همانند آزمایش هیدرومتری و کدورت‌سنجی پرداخت. بنابراین فاکتورهای مؤثر در نتایج این آزمایش به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرارگرفته‌اند [۸ و ۱۳].



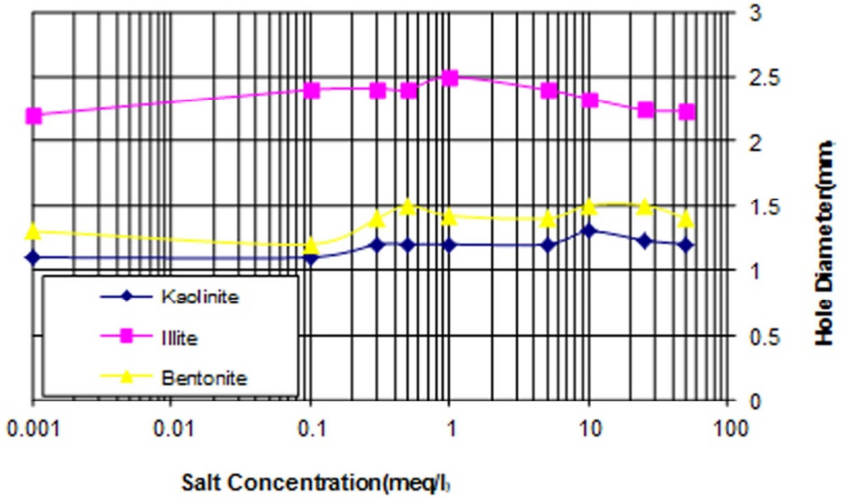
شکل ۴- کدورت آب خروجی از آزمایش پین‌هول.

در شکل ۴ تغییرات کدورت آب خروجی از سوراخ ایجاد شده در خاک، در برابر افزایش غلظت نمک در کانی‌های مختلف و در شکل ۵ تغییرات قطر سوراخ ایجاد شده در طی انجام آزمایش در برابر افزایش مقدار نمک نشان داده شده است. همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت نمک، تغییرات محسوسی در رفتار کدورت و تغییرات قطر سوراخ در نمونه‌ها به‌وجود نمی‌آید. این به آن دلیل است که در زمان انجام آزمایش، کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب تراوش داده شده، فرصت کافی برای انجام واکنش با خاک را ندارند و به‌درستی وارد لایه‌های دوگانه و تبادل با کاتیون‌های

تبادلی نمی‌شوند تا میزان غلظت آنها در نتایج خروجی تأثیرگذار باشد.

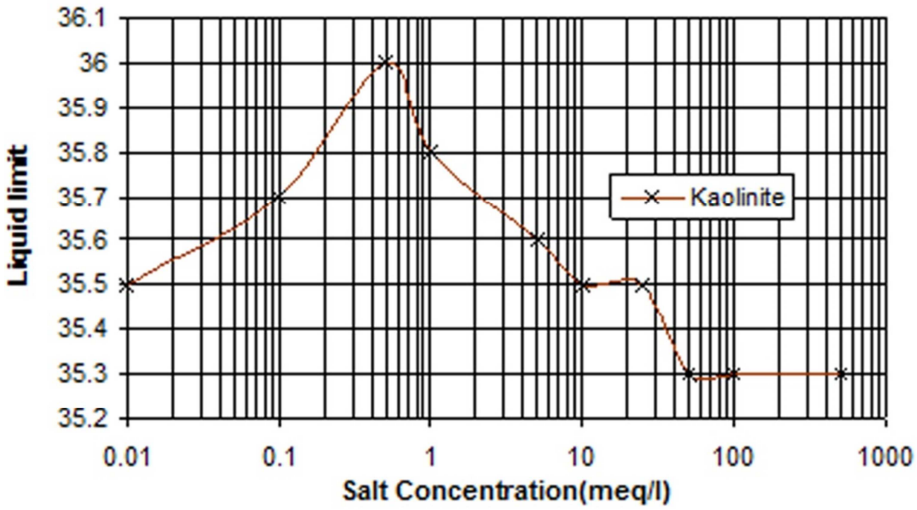
از طرفی مشاهده می‌شود که میزان واگرایی در ایلیت بیشتر از بنتونیت می‌باشد، درصورتی‌که نتایج قبلی عکس این واقعیت را نشان می‌دهد. این پدیده به دلیل آن است که میزان فرسایش در ایلیت طبق انواع فرسایش بیان شده در آزمایش پین‌هول توسط شرارد [۷]، بر اثر تنش برشی ایجاد شده حاصل از هد آب می‌باشد. خاک ایلیت چون درصد سیلت بیشتری دارد و بین ذرات چسبندگی کمتری نسبت به بنتونیت وجود دارد، در اثر تراوش آب ذرات راحت‌تر از هم جدا شده و در آب خروجی کدورت بیشتر، و تغییر بیشتری در سوراخ ایجاد شده مشاهده می‌گردد، درحالی‌که، در بنتونیت به‌دلیل چسبندگی بیشتر ذرات به هم، تنش برشی ایجاد شده قدرت کافی برای جدا کردن ذرات و افزایش قطر سوراخ را ندارد.

با توجه به مطالب فوق، آزمایش پین‌هول برای بررسی رفتاری واگرایی ریزساختار روی کانی‌های خالص مفید نبوده و بین نمک‌های مختلف در غلظت‌های متفاوت، تمایزی قائل نمی‌شود و تنها در موارد خاک‌های طبیعی و در محل و پیدا کردن دید کلی در مورد خاک مفید می‌باشد. ولی آزمایش‌های کدورت‌سنجی و هیدرومتری دوگانه به‌علت زمان مناسب واکنش نمک با خاک، نتایج مناسبی را از رفتار واگرایی خاک ارائه می‌دهد.



شکل ۵- افزایش قطر سوراخ ایجاد شده در نمونه پین‌هول بر اثر تراوش آب.

به‌منظور بررسی تأثیر رفتار پلاستیسیته خاک در پیک واگرایی، از آزمایش تعیین حد روانی استفاده شده است. در شکل ۶ تغییرات حد روانی با افزایش غلظت آورده شده است. در محدوده خمیری، اجزای رسی قادرند حرکت نمایند، روی هم بلغزند و در موقعیت جدید قرار گیرند. سپس، در حالت تعادل باقی بمانند. بنابراین بایستی نیروهای چسبندگی بین ذرات و یا بین واحدهای ذرات به اندازه کافی کم باشد که اجازه حرکت را به آنها بدهد و همین‌طور به اندازه کافی زیاد باشد تا ذرات در موقعیت جدید باقی بمانند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش اندک نمک، حد روانی افزایش می‌یابد تا به حد مشخصی برسد. این مقدار، همان حداکثر مقداری است که در آزمایش کدورت‌سنجی برای پیک واگرایی به‌دست آمده است. این نشان می‌دهد که در غلظت حداکثر پراکندگی، به‌علت دور شدن لایه‌های دوگانه نسبت به یکدیگر، ذرات به‌راحتی روی هم لغزیده و حد روانی افزایش پیدا می‌کند [۸].



شکل ۶- تغییرات حد روانی کانی‌های رسی با افزایش میزان غلظت نمک.

با افزایش بیشتر مقدار نمک، چون ساختار مجتمع نمکی به‌وجود می‌آید، حد روانی کاهش پیدا می‌کند که با نتایج کدورت‌سنجی تطابق دارد. نتایج محققین نشان می‌دهد که عمدتاً حد خمیری با افزایش سطح مخصوص خاک افزایش می‌یابد، اما نمی‌توان این کمیت را کاملاً با ضخامت لایه‌های نازک آب جذب شده در اطراف ذرات مربوط دانست. وقتی که خاک کاملاً اشباع نیست، اندرکنش آب‌وهوا را می‌توان با چسبندگی خاک مربوط دانست [۸].

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت نمک، مقدار دامنه خمیری افزایش و سپس به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند. افزایش دامنه خمیری در غلظت‌های حدود ۰/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر نمک اضافه شده به خاک را می‌توان به ایجاد ساختار پراکنده در غلظت‌های نمک کم منتسب نمود. با افزایش بیشتر غلظت نمک و کاهش قابل توجه نیروهای دافعه، ساختار درهم در خاک شکل می‌گیرد که نتیجه آن کاهش خواص خمیری خاک است.

۴- نتیجه‌گیری

یکی از مزیت‌های اصلی واگرایی ساختار خاک رسی، افزایش سطح مخصوص و به‌دنبال آن، افزایش میزان نگهداشت آلاینده‌ها توسط این خاک‌های رسی می‌باشد. از طرفی، با افزایش میزان نمک لازم برای واگرایی ساختار، ممکن است ساختار، مجتمع شده و نتیجه لازم حاصل نگردد. بنابراین، در اختیار داشتن میزان نمک لازم متناسب با نوع کانی رسی برای واگرایی ساختار رس ضروری است. در این تحقیق، با بررسی سه کانی ایلیت، کائولینیت و بنتونیت و انجام آزمایش کدورت‌سنجی و سوراخ‌سوزنی، میزان نمک لازم برای واگرا ساختن هر خاک تعیین گردید. نتایج نشان می‌دهد، کانی بنتونیت به‌ازای درصد بیشتر نمک نسبت به ایلیت و کائولینیت واگرا شده است. همچنین، شدت این واگرایی (عدد قرائت شده از روی دستگاه کدورت‌سنج) در مورد بنتونیت بیشتر می‌باشد. این رفتار مشاهده شده را می‌توان به ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر بنتونیت نسبت به ایلیت و ایلیت نسبت به کائولینیت نسبت داد که متعاقب آن نمونه می‌تواند نمک بیشتری را برای واگرا شدن جذب کند.

نتایج آزمایش سوراخ‌سوزنی نشان می‌دهد که کانی ایلیت در این آزمایش واگراترین کانی می‌باشد. به‌عبارت دیگر، به‌علت داشتن درصد لای زیاد در این خاک و با توجه به تنش برشی ایجاد شده در جداره سوراخ تعبیه شده در نمونه، ذرات لای به‌راحتی شسته می‌شوند و خاک به‌شدت فرسایش‌پذیر می‌باشد. از طرفی، با توجه به زمان

اندک اندرکنش الکترولیت با سطح رس‌ها در این آزمایش، این آزمایش برای نتیجه‌گیری در مورد رس‌های طبیعی توصیه شده و در مورد مطالعه روی کانی‌های خالص، آزمایش هیدرومتری دوگانه و کدورت‌سنجی توصیه می‌شود.

نتایج آزمایشات روی کانی‌های مختلف رسی نشان می‌دهد که مکانیزم واگرایی تمامی این کانی‌ها (بنتونیت، ایلیت و کائولینیت) از طریق جذب سدیم و در نتیجه افزایش ضخامت لایه دوگانه آنها می‌باشد. کانی‌های با سطح مخصوص بالاتر مثل بنتونیت و ایلیت در مقدار نمک بیشتری نسبت به کانی‌های با سطح مخصوص کمتر واگرا می‌شوند که شدت این واگرایی نیز بیشتر است. به‌عنوان مثال، غلظت نمک مورد نیاز برای واگرایی ایلیت و کائولینیت به‌ترتیب برابر ۵ و ۰/۳ میلی‌اکی‌والان‌گرم بر لیتر می‌باشد. در پیک واگرایی به‌علت دور شدن پولک‌ها از هم، خاک تنش برشی کمتری را تحمل می‌کند و مقاومت آن کاهش می‌یابد و لذا حد روانی خاک افزایش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

باتوجه‌به اینکه بخشی از فرآیندهای صورت گرفته در این تحقیق، در دانشگاه بوعلی‌سینا و با استفاده از امکانات آزمایشگاهی آن دانشگاه تحقق یافته است، بدین‌وسیله از حمایت‌های این نهاد محترم تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع

[1] Komine, H. (2008). “Theoretical equations on hydraulic conductivities of bentonite-based buffer and backfill for underground disposal of radioactive wastes”, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, *134*(4), 497-508.

[2] Egloffstein, T.A. (2001). “Natural bentonites—influence of the ion exchange and partial desiccation on permeability and self-healing capacity of bentonites used in GCLs”, *Geotextiles and Geomembranes*, *19*(7), 427-444.

[3] Mitchell, J.K., & Soga, K. (2005). Fundamentals of soil behavior.

[4] Güler, Ç., & Balci, E. (1998). “Effect of some salts on the viscosity of slip casting”, *Applied clay science*, *13*(3), 213-218.

[5] Chen, J.S., Cushman, J.H., & Low, P.F. (1990). “Rheological behavior of Na-montmorillonite suspensions at low electrolyte concentration”, *Clays and Clay Minerals*, *38*(1), 57-62.

[6] Yong, R.N., & Sethi, A.J. (1977). “Turbidity and zeta potential measurements of clay dispersibility”, In *Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects*. ASTM International.

[7] Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., & Decker, R.S. (1976). “Identification and nature of dispersive soils”, *J. Geotech. Eng., ASCE*, *102*(GT 4), 298-312.

[۸] بایسته، ح. (۱۳۸۴). "تاثیر واگرایی بر خصوصیات فیزیکی و ریزساختاری خاک‌های رسی و اندرکنش آنها با آلاینده‌های فلزی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا.

[9] Abend, S., &Lagaly, G. (2000). “Sol-gel Transition of sodium momtmorilonite dispersion”, *Applied clay science 16*, 201-227.

[10] American Society for Testing And Materials,ASTM, (1992). *Annual Book of ASTM Standard, Philadephia, 4(80)*.

[11] Goodarzi, A.R. (2003). “Effect of pore fluid charactristic on the dispersivity behavior of soils”, *specific attention to the microstructure interaction, Master Thesis, Civil Eng. Dept., Bu-Ali Sina University, iran.*

[12] Ouhadi, (1998). “The Role of mineral Transformation on the Attenuation Potential and Leaching Behavior of Soils”, *International Conference on Polluted Marginal Land 98*, 351-355.

[13] Penner, D., & Lagaly, G. (2001). “Influence of anions on the rheological properties of clay mineral dispersions”, *Applied Clay Science*, *19*(1), 131-142.

[14] Di Maio, C. (1996). “Exposure of bentonite to salt solution: osmotic and mechanical effects”, *Geotechnique*, *46*(4), 695-707.

Microstructural Investigation of the Effect of Minerals on the Dispersivity Behavior of Clays

H. Bayesteh *

Assistant Professor, Faculty of Engineering,
University of Qom.

e-mail: h.bayesteh@qom.ac.ir

It goes without saying, dispersive soil might cause some geotechnical problems, although, in geo-environmental project, they could be used as an excellent contaminant absorbent due to their higher surface area and well exposed clay particles to soil pore fluid. Because of this environmental application, using disperse clay is common in many landfill projects. On the other hand, the dispersivity behavior of soils is known to be a function of clay mineral and concentration of salt in pore fluid. On this base, this paper gives some applicable graphs to estimate the concentration of salt needed to disperse clayey soils with the view of using in geo-environmental project based on the mineral types. The results indicate that, this system provides deep knowledge of salt concentration needed for disperse clayey minerals and mixture of minerals. It is shown that the effect of the clay microstructure is the important factor on the dispersivity behavior of clay minerals.

Keywords: *Clay minerals, Dispersive, Microstructure.*

* Corresponding author