

اثر رس های فیبری و املاح بر سرشتی های مهندسی خاک های نواحی خشک

حکیمه عباسلو*، سمیه بختیاری، محمد صفی پور

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان

(دریافت مقاله: ۹۵/۳/۱۷، نسخه نهایی: ۹۵/۷/۱۸)

چکیده: در ایران گستره ی پهناوری از خاک ها و آب ها با شوری مواجه هستند؛ بنابراین سرشتی های زمین ساختی خاک های نواحی خشک و شور برای طرح های مهندسی اهمیت زیادی دارند. در این تحقیق، اثر شوری بر ویژگی های ژئوتکنیکی خاک های ریزدانه و درشت دانه حاوی کانی های فیبری بررسی شده است. نتایج نشان داد در خاک های ریزدانه شوری یک عامل فلوکوله (لخته) کننده و در خاک های درشت دانه معمولاً یک عامل پراکنده کننده بوده است. به طور کلی، شوری پارامترهای مقاومت خشک را افزایش و رطوبت بهینه را کاهش می دهد. اما تغییرات بر اساس نوع کانی و اندازه ذرات متفاوت هستند.

واژه های کلیدی: خاک نواحی خشک؛ شوری؛ کانی های فیبری؛ سرشتی های زمین ساختی.

مقدمه

خاک های شور، سدیمی و آهکی سطح گسترده ای از کشور را فراگرفته است که عموماً در اقلیم نیمه خشک تا خشک بوجود می آیند. این خاک ها دارای مقادیر زیادی املاح خاک بوده و در مناطقی که دارای زهکشی مناسب نیستند، تشکیل می شوند. بیش از یک سوم خاک های دنیا و بیش از ۹۰ درصد سطح کشور در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد [۱]. خاکی که $pH=7.5-8.3$ و حاوی مقدار چشمگیری کربنات کلسیم و منیزیم آزاد باشد، خاک آهکی محسوب می شود. اگر بارندگی کمتر از ۲۰۰ میلیمتر در سال باشد، لایه کربنات ها در بخش سطحی خاک و اگر میزان بارندگی بیشتر باشد این لایه در اعماق خاک مشاهده می شود [۲]. در ایران مساحتی در حدود ۲۳/۵ میلیون هکتار از اراضی، با مسایل شوری، سدیمی و ماندابی بودن روبرو هستند [۳]. در این مناطق شوری زایی باعث بیابانی شدن زمین ها و کاهش کیفیت آنها شده است [۴]. شوری زایی خاک ممکن است همانند مخاطرات دیگر طبیعی (زمین لرزه، زمین لغزش، و غیره) دارای قدرت تخریبی سریع

نباشد، ولی به عنوان یک مخاطره ی محیطی شدید محسوب می شود [۵]. پ هاش (pH) خاک های فلات مرکزی ایران در بیشتر موارد بیش از ۷ است و علت آن وجود کربنات کلسیم، سولفات کلسیم و املاح شور و سدیمی است. در بعضی از خاک های غنی از سدیم و کربنات های محلول، pH خاک از ۹ نیز تجاوز کرده و به ۹/۷ و حتی بیشتر می رسد؛ مثلاً در خاک غنی از سدیم، pH خاک تا ۱۰ افزایش می یابد [۳].

در عملیات کارگاهی و صحرایی، مهمترین اثرهای شوری و سدیمی شدن خاک، افزایش انرژی مورد نیاز به علت کاهش قابلیت کار و عبور مرور است [۶].

تاثیر استفاده از کاربرد آب های با سدیم بالا موجبات افزایش جرم مخصوص ظاهری، کاهش پایداری خاکدانه ها، و کاهش نفوذ را به همراه دارد [۸،۷]. ایگوه و اکبالاما [۹] مقاومت خاک های شرق نیجریه و اثر سدیم و پتاسیم روی پراکندگی آنها را بررسی کردند و نشان دادند که ضریب انبساط پذیری خطی (COLE) با حدود پلاستیک و روانی خاک همبستگی مثبت معنی داری نشان می دهد. شریعتمداری و

همکاران [۱۰] اثر نمک‌های غیر آلی روی سرشتی‌های ژئوتکنیکی مخلوط‌های خاک-بنتونیت بررسی و به این نتیجه رسیدند که نمک‌ها یک اثر چشمگیر روی سرشتی‌های زمین-ساختی خاک‌ها دارد. علت اصلی آن تغییراتی است که در لایه-ی مضاعف ذرات رس رخ می‌دهد. به عقیده‌ی سیوپولایه و مانجو [۱۱] حد روانی خاک با خمیرایی کم (۰.۳۸) در معرض محلول NaOH، با افزایش غلظت NaOH، افزایش می‌یابد که به تشکیل ترکیبات انبساط‌پذیر وابسته است.

کیرک و شوفیلد [۱۲] فرایندهای فروپاشی، پراکندگی، و انبساط خاک را به عنوان فاکتورهای کلیدی تخریب ساختار خاک به دلیل سدیمی بودن چگالی و در نتیجه روی پایداری خاک اثر دارد. در نواحی خشک با مواد آلی پایین، محتوای رس، مقدار اکسیدهای آهن و آلومینیوم، املاح، و کربنات کلسیم روی خصوصیات فیزیکی خاک اثر دارد. لوی و مامدوی [۷] اثرهای ترکیبی شوری، سدیمی، نرخ رطوبت، و بافت خاک را روی هدایت هیدرولیکی و پایداری دانه‌های خاک بررسی کردند. بنابر برداشت آنها نرخ رطوبت روی فروپاشی خاک‌ها با رس کم (تقریباً ۹ درصد) اثر ندارد. با افزایش رس، یک اثر متقابل بین پایداری خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی بین تیمارهای مختلف وجود دارد. رویز ورا و وو [۱۳] اثرهای متقابل کانی‌شناسی رس، نرخ رطوبت پیشین PWR، و نسبت جذب سدیم SAR را روی پایداری خاکدانه‌های خاک بررسی کردند و به این رسیدند که پایداری خاکدانه کاتولینیتی به طور معنی داری تحت تاثیر افزایش SAR نبود. خاک‌های اسمکتیتی حساس‌ترین به فروپاشی خاکدانه، در حالیکه خاک‌های ورمیکولیتی حساس‌ترین به انبساط جزئی (در PWP پایین) بودند. هنگامیکه SAR پایین بود، فروپاشی خاکدانه بوسیله PWR سریع، علت اصلی شکستن خاکدانه بود. در $SAR > 20$ ، انبساط و پراکندگی برای پایداری ساختاری مهم‌تر شدند.

آهک در سطح وسیعی برای اصلاح پارامترهای زمین‌ساختی خاک به کار گرفته می‌شود [۱۵، ۱۴]. مقاومت پایین خاک بیشتر به دلیل افزایش رطوبت است. افزایش مقدار کمی آهک موجب تغییر بافت خاک و در نتیجه تغییر ویژگی‌های ژئوتکنیکی آن می‌شود. این تمهیدات به دلیل واکنش بین اجزای سیلیکاتی خاک و آهک در حضور آب انجام می‌شود. هنگامی که آهک به خاک رس افزوده می‌شود، واکنش‌های متعددی از جمله واکنش‌های تبادل کاتیونی یا کوتاه مدت،

واکنش‌های پوزولانی یا دراز مدت، واکنش‌های کربناسیون انجام می‌شود. واکنش‌های پوزولانی بستگی به درصد رس موجود در خاک مورد استفاده دارد. برپایه‌ی پژوهش‌های انجام گرفته مقدار رس در کل نمونه نباید کمتر از ۲۵ درصد و شاخص خمیری بزرگتر از ۱۰ باشد [۱۷، ۱۶]. به عبارت دیگر آهک در تقویت خاک‌هایی موثر است که میزان کانی‌های رسی آنها برای واکنش‌های پوزولانی به اندازه کافی باشد. واکنش‌های پوزولانی، ذرات بخش ریزدانه خاک را به هم می‌چسباند و ذرات درشت حاصل می‌شود. افزودن آهک سبب افزایش حد خمیری و کاهش حالت خمیری می‌شود. ولی در شرایطی که خاک حاوی سولفات‌های قابل حل باشد مثل خاک‌های گچدار (در شرایط اشباع) و یا اینکه سولفات‌ها از طریق منابع دیگر مثل آب موجود در محیط وارد خاک شود، استفاده از آهک نه تنها موثر واقع نخواهد شد بلکه به علت واکنش‌های شیمیایی که بین رس، آهک و یون سولفات انجام می‌شود کانی‌های ثانویه‌ای از قبیل اترینگایت و تاماسایت ایجاد شده که این کانی‌ها با توجه به قابلیت جذب آب بالا، و تورم شدید مشکل‌زا بوده و موجب کاهش مقاومت می‌شوند [۱۸، ۱۹].

پالی‌گورسکایت و سپیولایت رس‌های فیبری خاک بوده که به روش ریخت‌شناسی ریز فیبری و بار سطحی کم شناسایی می‌شوند [۲۰]. سرشتی‌های فیزیکی سپیولایت و پالی‌گورسکایت مشابه هم هستند، بدون شک کانی‌ها پلاستیسیته بالایی دارد به طوریکه اوحدی و یانگ [۲۱] نشان دادند که سپیولایت مورد بررسی حد روانی ۵۰۰ درصد و پلاستیک ۲۰۰ درصد و شاخص پلاستیک ۳۰۰ درصد نشان داد و دارای ضریب فعالیت ۳ (ضریب فعالیت < ۳: رس فعال) و انبساط ۱۰/۴-۹/۹ بودند. و ظرفیت تبادل کاتیونی 10 meq/100g soil و سطح ویژه ۳۷۰ متر مربع بر گرم را رس‌های مورد بررسی از خود نشان دادند. به دلیل ویژگی‌های ساختاری، کانی‌ها ویژگی‌های منحصر به فردی داشته که از آن میان می‌توان به تخلخل و سطح ویژه‌ی زیاد، جذب شدید و ویژگی‌های رئولوژیکی (Rheological) خاص این کانی‌ها اشاره کرد.

نیمن و سینگ [۲۲] رفتارهای جریان و تعبیر شکل (Rehology and thixotrophy) تعلیق پالی‌گورسکایت‌های مختلف را به عنوان عملکرد سرشتی‌های شیمیایی مانند جذب-های یونی، pH، و غلظت الکترولیت را بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که مدل‌هایی برای توضیح رفتار جریان کانی‌های

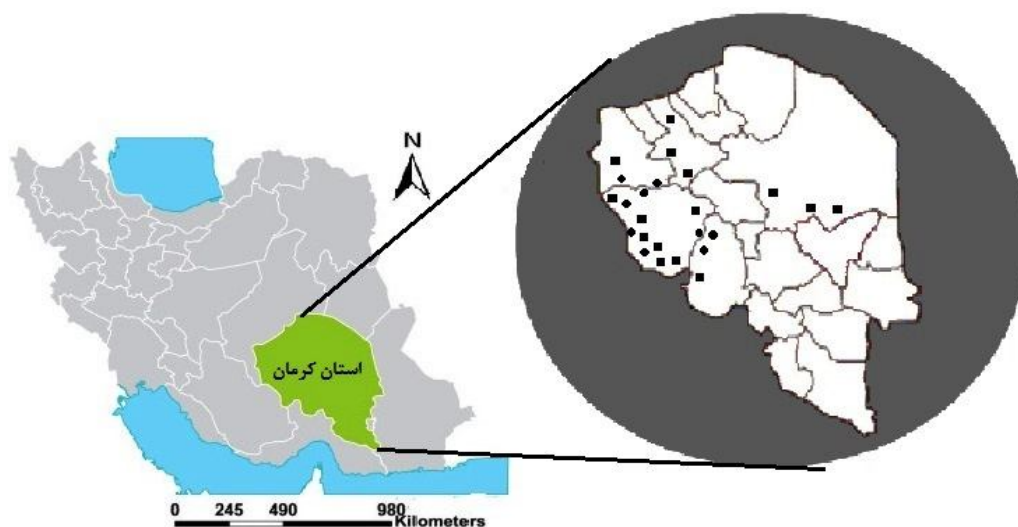
و شکست بسیاری از پروژه‌ها را کاهش خواهد داد. در نواحی خشک با مواد آلی کم، محتوای رس، املاح، و کربنات کلسیم عوامل تعیین کننده‌ی سرشتی‌های فیزیکی خاک هستند. بررسی‌های جامعی پیرامون اثر کانی‌شناسی (کانی پالیگورسکایت) و شوری و سدیمی به طور همزمان روی خاک‌های آهکی صورت نگرفته است. از این‌رو اهداف این طرح (۱) ارزیابی اثر متقابل شوری (EC) و رس فیبری روی سرشتی‌های فیزیکی و مهندسی خاک و (۲) تغییر ویژگی‌ها با استفاده از مفهوم مقاومت خاک، است.

مواد و روش‌ها

- نمونه برداری و آماده‌سازی خاک‌ها

تعداد ۲۰ خاک در شت دانه و ۱۵ خاک ریزدانه از دشت‌های مختلف استان کرمان به منظور آزمایش‌های مختلف بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی نمونه‌برداری شدند (شکل ۱)، از بین خاک‌های یاد شده ۱۵ خاک درشت‌دانه و ۹ خاک ریزدانه به عنوان نماینده‌ی خاک‌ها مورد آنایز قرار گرفتند. نمونه‌های تهیه شده نخست هوا خشک شده و برای آنایز از الک با مش ۴ عبور داده شدند. نمونه‌های انتخاب شده (با سه تکرار) از هر منطقه با شوری‌های کم نمونه‌برداری شدند. نمونه‌ها نصف شده و تیمارهای مختلف کلرید سدیم اعمال شد و در رطوبت بهینه به مدت ۴۰ روز نگهداری شدند. بنابراین اثر شوری‌های مختلف روی خصوصیات خاک مورد بررسی قرار گرفت.

رس صفحه‌ای استفاده شدند، همیشه برای رفتار پالیگورسکایت به شمار نمی‌روند، چونکه اختلاف‌هایی در ریخت‌شناسی ساختار سطحی وجود دارد. اثر کانی‌های رسی معمولی، مانند اسمکتیت، کائولینیت، و ایلیت روی خواص خاک به‌طور گسترده‌ای بررسی شده است. به هر حال با توجه به پالیگورسکایت، اطلاعات کمی از طبیعت آن در دسترس است. نظر به اینکه بیش از یک سوم خاک‌های دنیا و بخش اعظم خاک‌های ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته (که تبخیر بیشتر از بارش‌ها بوده و املاح انباشت می‌یابد) و شکننده و مستعد انباشت املاح بوده و همچنین امکان تشکیل کانی-رسی پالیگورسکایت و حضور آن با فراوانی بالا معمول است. و از سوی دیگر خاک‌های کشور ایران غالباً آهکی بوده و فقط در سطح محدودی از شمال کشور، خاک اسیدی دیده می‌شود. از اینرو ارزیابی ارتباط بین کانی‌شناسی و تنش هاس شوری و سدیمی در خاک‌های آهکی ضروری است. از سوی دیگر، عدم بررسی دقیق و علمی شوری زایی خاک و محتوای کانی خاک به عنوان یک مخاطره محیطی شدید محسوب می‌شود. بخش اعظم پروژه‌های عمرانی در این مناطق اجرا شده و از منابع خاک موجود در این مناطق به عنوان مصالح و منبع قرضه استفاده می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش راهکاری برای استفاده از این خاک‌ها داده براساس مواد محلول و کانی‌های رس را برای استفاده‌های مختلف پیشنهاد خواهد کرد. بنابراین پژوهش یاد شده گامی در جهت پژوهش کاربردی بوده و هزینه



شکل ۱ مناطق نمونه‌برداری در سطح استان کرمان (■ خاک‌های درشت دانه و ● خاک‌های ریزدانه).

آنالیزهای آزمایشگاهی

تعیین شوری خاک: قابلیت رسانندگی الکتریکی عصاره اشباع خاک به وسیله رسانندگی سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد.

آنالیز کانی شناسی

برای خالص‌سازی رس از روش ترکیبی مهرا و جکسون [۲۳] و کیتریک و هوپ [۲۴] استفاده شد. نمونه‌های خاک پیش از جداسازی رس و بررسی، کربنات‌ها و نمک‌های محلول آن به وسیله استات سدیم ۱ مولار و پ هاش ۵ حذف شده، اکسایش مواد آلی با آب اکسیژنه ۳۰ درصد و حذف پوشش‌های اکسید آهن به وسیله سیترات - بی‌کربنات - دی‌تیونات صورت گرفت.

در مرحله‌ی تفکیک، اجزای رس از شن و سیلت خاک جدا می‌شوند. برای جداسازی رس، نمونه‌های درون لوله‌ها را در یک مرکز گریز به مدت ۵ دقیقه و ۱۸ ثانیه با دور ۷۵۰ دور در دقیقه قرار داده و بخش روئی جدا می‌شود. پس از تفکیک اجزاء برای تجزیه نیمه کمی کانی‌های رس و مقایسه‌ی دقیق تر رس - ها، پراش نگاشت‌های پرتو ایکس این نمونه‌ها با یک پراش سنج پرتو ایکس فیلیپس مدل PW1840 در گستره‌ی زوایای پراش (2θ) ۴ تا ۷۰ درجه و سرعت اسکن ۰/۵ درجه در هر دقیقه در شرایط ولتاژ ۴۰ کیلوولت و آمپراژ ۲۰ میلی آمپر به‌وسیله‌ی لامپ پرتوی ایکس با فلز هدف مس رسم شد.

تعیین دانه‌بندی خاک: بررسی اندازه‌ی ذرات به روش نم‌سنجی روی ذرات عبوری از الک ۱۰ مش انجام شد. این آزمایش براساس استاندارد شماره‌ی ASTM D 422 و با انتخاب ۵۰ گرم خاک و استفاده از هیدرومتر ۱۵۲H و محلول چهار درصد هگزا متا فسفات سدیم انجام گرفت.

تعیین چگالی ویژه: وزن مخصوص ذرات (Gs) معمولاً به روش قله‌سنجی آب ASTM D854 برآورد می‌شود.

تعیین حدود اتربرگ: حد روانی به روش کاساگرانده براساس ASTM D4318-10 روی نمونه‌های خاک عبوری ۰/۴۲۵ میلیمتر تعیین می‌شود. حد خمیریابی به روش رول کردن فتیله بر اساس روش ASTM D4318-10 انجام می‌شود. نشانه‌ی خمیریابی به صورت تفاوت بین حد روانی و خمیریابی محاسبه شده است.

تعیین تراکم استاندارد: برای برآورد رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک تراکم به روش استاندارد روی نمونه‌ها براساس استاندارد ASTM D698 بررسی و اندازه‌گیری می‌-

شوند. محتوای رطوبت خاک به روش خشک کردن در آون اندازه‌گیری و به صورت درصد وزن خشک آن بیان می‌شود. **تعیین مقاومت فشاری تک محوری:** این روش بنابر استاندارد شماره‌ی ASTM 2166-7 تعریف شده است. هدف از این بررسی اندازه‌گیری تقریبی مقاومت برشی خاک چسبنده است. از آنجاکه در این بررسی نمونه بدون فشار جانبی بررسی می‌شود و خاک‌های دانه‌ای این توانایی را ندارند که بدون فشار جانبی به صورت استوانه درآیند، این بررسی مخصوص خاک‌های چسبنده است.

تعیین برش مستقیم: این بررسی به صورت کنترل تنش، زهکشی روی خاک‌های اشباع شده و خشک براساس استاندارد ASTM(AASHTO T: 236-90, ASTM D: 3080-90) صورت گرفت.

روش آماری و نرم افزار تحلیل داده‌ها

در این مقاله از نرم افزار excel۲۰۱۰ برای ترسیم نمودارها و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

نتایج

- سرشتی‌های خاک‌ها

سرشتی‌های کلی خاک‌های درشت‌دانه و ریزدانه‌ی مورد بررسی مانند کانی‌شناسی، دانه‌بندی، و شوری به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده‌اند. بر اساس نتایج جدول‌های نامبرده، کانی‌های فیبری، کلرایت، ایلیت، و مونت موریلونیت از جمله کانی‌های مهم رسی خاک‌ها هستند (شکل ۲). البته فراوانترین کانی، کانی پالیگورسکایت است و کانی مونت موریلونیت فقط در خاک‌های ریز دانه حضور دارند. افزایش نمک در خاک‌های با رس کم و از نوع کلریتی و ایلیتی، سبب افزایش در لای و مقدار کمی رس خاک، ولی مقدار ماسه در خاک کاهش یافته است. دلیل آن می‌تواند پراکنده شدن ذرات خاک و افزایش درصد ذرات ریزدانه خاک شود، ولی در خاک‌های با رس فیبری و رس بیشتر تغییر محسوسی در دانه‌بندی مشاهده نشده است. علت آن می‌تواند جاذب بودن رس فیبری باشد که سدیم را جذب کرده و نقش آن در تغییر دانه‌بندی حذف شده است. در خاک‌های با رس غیر فیبری، با رس بالا، نمک اگر کم باشد سبب پراکنده شدن ذرات و اگر بالا باشد نقش فولوکوله‌کنندگی دارد (جدول ۱).

در خاک‌های ریزدانه (کلرایت، ایلیت، مونت‌موریلونیت)، با افزایش نمک، رس کاهش و ماسه افزایش یافته است. همزمان

غالب مونت موریلونیت و کلریت و ایلیت، حد خمیرایی و روانی را کاهش می‌دهد. در حالیکه افزایش بیشتر شوری، سبب افزایش حدود مذکور شده، ولی نسبت به حالت شوری کم این حدود کمتر هستند. البته باید تاکید کرد که رس‌های فیبری سبب افزایش شوری، و کاهش می‌یابد.

منحنی دانه بندی و رده‌بندی خاک‌های درشت‌دانه با شوری کم (C) و ریزدانه با شوری کم (P) به ترتیب در شکل-های ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند.

نمک نقش فولوکوله و پراکنده‌کنندگی داشته، اما با افزایش نمک نقش فولوکوله‌کنندگی بیشتر شده است. در خاک‌هایی که علاوه بر رس‌های موجود شامل رس‌های فیبری نیز هستند؛ افزایش نمک سبب فولوکوله‌کنندگی ولی افزایش بیشتر نمک سبب پراکنده شدن خاک می‌شود. به عبارتی دیگر، در افزایش نمک، مقدار ماسه افزایش و با افزایش بیشتر نمک، ماسه کاهش و لای و رس افزایش خواهد یافت (جدول ۲). شوری و نوع کانی‌شناسی، تاثیرات شاخصی روی حدود اتربرگ خاک‌ها دارد. بر اساس جدول ۳، افزایش شوری در خاک‌های با رس

جدول ۱ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های درشت دانه.

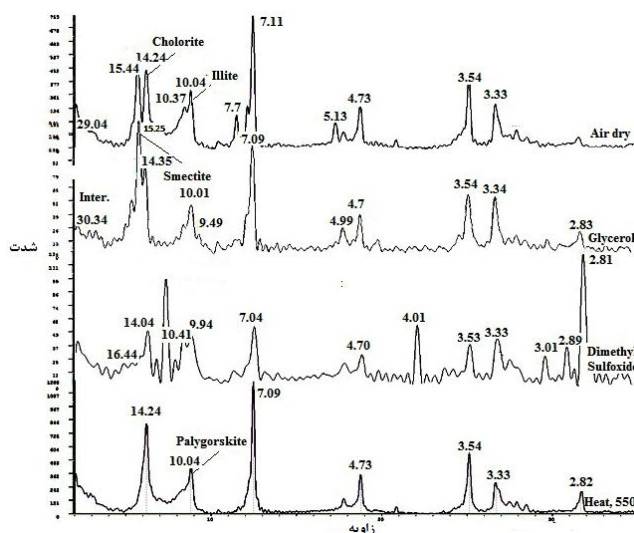
نوع خاک	شوری $dS m^{-1}$	رس٪	لای٪	ماسه٪	طبقه بندی	آهک٪	کانی های رسی □
A	۱۳	۳	۱۳	۸۴	Sand-Loamy sand	۵	Chol. (40), Ill. (55), Fib. (5)
B	۶	۳	۷	۹۰	sand	۶	Chol. (40), Ill. (55), Fib. (5)
C	۲	۲	۴	۹۴	sand	۷	Chol. (40), Ill. (55), Fib. (5)
D	۹	۳	۱۱	۸۶	Sand-Loamy sand	۷	Chol. (35), Ill. (45), Fib. (20)
F	۴	۳	۱۱	۸۶	Sand-Loamy sand	۶	Chol. (35), Ill. (45), Fib. (20)
E	۲	۳	۱۱	۸۶	Sand-Loamy sand	۸	Chol. (35), Ill. (45), Fib. (20)
G	۷٫۵	۷	۱۱	۸۲	Loamy sand	۷	Chol. (15), Ill. (25), Fib. (60)
H	۴	۷	۱۲	۸۱	Loamy sand	۸	Chol. (15), Ill. (25), Fib. (60)
I	۲	۷	۱۲	۸۱	Loamy sand	۹	Chol. (15), Ill. (25), Fib. (60)
J	۸	۵	۷	۸۸	Sand-Loamy sand	۶	Chol. (45), Ill. (50), Fib. (5)
L	۴	۵	۱	۹۴	Sand	۷	Chol. (45), Ill. (50), Fib. (5)
K	۲	۵	۱	۹۴	Sand	۹	Chol. (45), Ill. (50), Fib. (5)
M	۸٫۵	۵	۷	۸۸	Loamy sand	۵	Chol. (40), Ill. (55), Fib. (5)
O	۴	۳	۱۷	۸۰	Loamy sand	۶	Chol. (40), Ill. (55), Fib. (5)
N	۱٫۵	۵	۱۱	۸۴	Loamy sand	۸	Chol. (40), Ill. (55), Fib. (5)

□ Ill: Illite, Chol: Chlorite, Fib.: Fibrous (Sepiolite and palygorskite), Number: clay mineral frequency

جدول ۲ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های ریزدانه.

نوع خاک	شوری $dS m^{-1}$	حد خمیرایی٪	حد روانی٪	کانی های رسی □
P	۲	۳۷	۴۳	Mont. (40) Chol. (30), Ill. (30)
T	۵	۲۷	۳۱٫۵	Mont. (40) Chol. (30), Ill. (30)
Q	۸	۳۵	۴۲٫۸	Mont. (40) Chol. (30), Ill. (30)
X	۲	۴۴	۴۸	Mont. (25) Chol. (15), Ill. (10), Fib. (50)
V	۴	۴۱٫۵	۴۷٫۵	Mont. (25) Chol. (15), Ill. (10), Fib. (50)
W	۷	۳۹٫۵	۴۲٫۷۵	Mont. (25) Chol. (15), Ill. (10), Fib. (50)

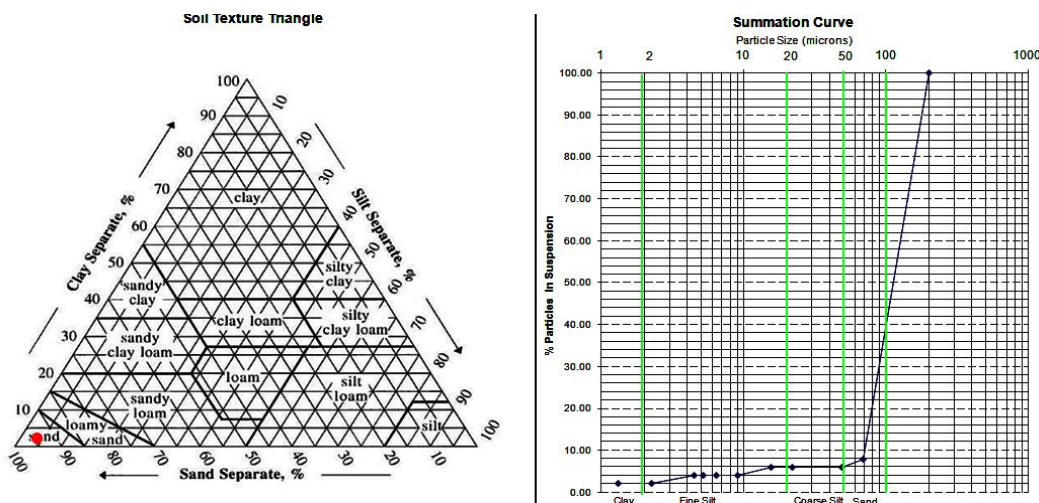
*Mont.: Montmorillonite, Ill.: Illite, Chol: Chlorite, Fib.: Fibrous (Sepiolite and palygorskite), Number: clay mineral frequency



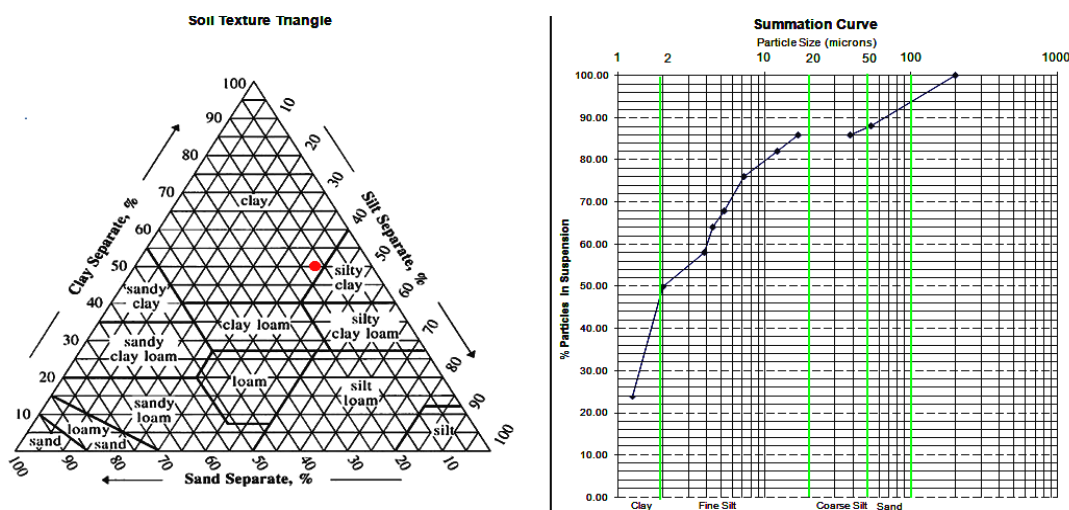
شکل ۲ پراش نگاشت جزیی رس خاک ریزدانه حاوی کانی های اسمکتیت، کلریت، ایلیت و فیبری.

جدول ۳ تغییرات حدود اتربرگ (حد خمیریایی و حد روانی) برخی از خاک های ریزدانه.

نوع خاک شور	$dS\ m^{-1}$ رس	% لای	% ماسه	طبقه بندی	آهک %	کانی های رسی □
P	۲	۱۳	۳۸	Clay	۱۴	Mont. (40) Chol. (30), Ill. (30)
T	۵	۳۷	۲۱	Clay	۱۲	Mont. (40) Chol. (30), Ill. (30)
Q	۸	۳۰	۳۴	Clay Loam	۱۰	Mont. (40) Chol. (30), Ill. (30)
S	۲	۳۹	۴۵	Loam	۱۲	Mont. (40) Chol. (30), Ill. (30), Fib. (20)
U	۳.۵	۳۶	۴۹	Loam	۱۰	Mont. (30) Chol. (30), Ill. (20), Fib. (20)
R	۶	۴۰	۴۲	Loam	۹	Mont. (30) Chol. (30), Ill. (20), Fib. (20)
X	۲	۴۴	۴۱	Loam	۱۳	Mont. (25) Chol. (15), Ill. (10), Fib. (50)
V	۴	۳۷	۴۷	Loam	۱۱	Mont. (25) Chol. (15), Ill. (10), Fib. (50)
W	۷	۳۶	۵۱	Loam-Sand Loam	۸	Mont. (25) Chol. (15), Ill. (10), Fib. (50)



شکل ۳ منحنی دانه بندی خاک درشت دانه با شوری ناچیز (خاک C).



شکل ۴ منحنی دانه‌بندی خاک ریزدانه مونت موریلونیتی با شوری ناچیز (خاک P).

سرشتی‌های مکانیکی خاک‌ها

• تراکم

رطوبت بهینه‌ی خاک‌های درشت‌دانه بین ۱۴ تا ۲۴ متغیر است که با افزایش نمک و درصد ریزدانه، این مقدار افزایش می‌یابد؛ افزایش نمک در خاک‌های درشت‌دانه با رس کمتر تغییرات محسوس‌تری تا درشت‌دانه با رس بیشتر دارد. چگالی خشک این خاک‌ها بین ۳/۰۵ تا ۳/۷۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند.

رطوبت بهینه‌ی خاک‌های ریزدانه در دامنه‌ی ۲۱ تا ۳۴ تغییر می‌کند که با افزایش نمک، رطوبت بهینه‌ی کمتری از خود نشان دادند. رس‌های فیبری نسبت به رس‌های مونت موریلونیت رطوبت بهینه‌ی بیشتری داشتند. چگالی خشک خاک‌ها بین ۱/۹۴ تا ۲/۴۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند.

به طور کلی افزایش رس فیبری و نمک در خاک‌های درشت‌دانه، موجب افزایش رطوبت بهینه خاک می‌شود. افزایش نمک در خاک‌های ریزدانه، تغییرات کمتری در رطوبت بهینه‌ی خواهد داشت.

مقاومت فشاری

مقاومت فشاری تک‌محوری خاک (شکل ۵)، با افزایش نمک و کانی‌های فیبری (W) افزایش می‌یابد. افزایش نمک و رس فیبری بر خلاف مونت‌موریلونیت، مقاومت خاک را بهبود می‌بخشد.

تنش برشی

افزایش شوری سبب افزایش مقاومت برشی خاک می‌شود. حضور کانی‌های فیبری در خاک درشت‌دانه، سبب کاهش نیروی برشی می‌شود به طوری که از ۰/۴ به ۰/۳۱ کیلوگرم به سانتی‌متر مربع در خاک خشک کاهش می‌یابد (شکل ۶). به خلاصه اینکه با افزایش نمک و کاهش رس، مقاومت برشی افزایش می‌یابد. مقاومت برشی خاک خشک در همه موارد نسبت به مقاومت برشی خاک مرطوب بیشتر است.

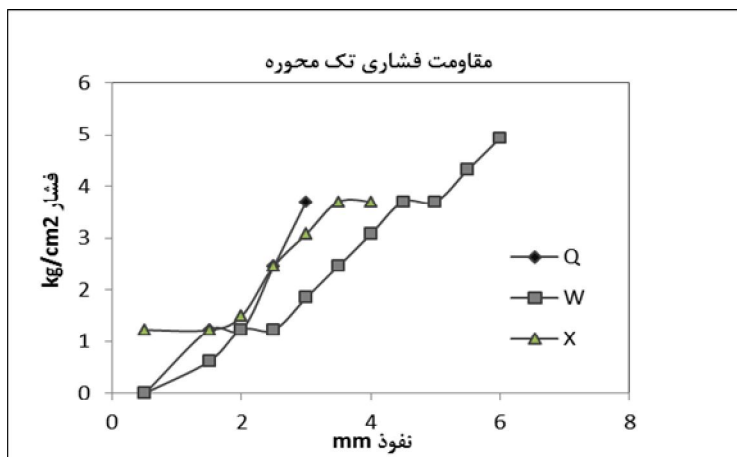
مقاومت خاک خشک با حضور نمک افزایش می‌یابد، ولی اگر خاک مرطوب باشد آنگاه خاک با نمک کمتر از خاک بدون نمک و شوری می‌باشد. بنابراین نمک در حالت مرطوب اثر نامطلوب روی مقاومت و اثر مساعد روی مقاومت در حالت خشک دارد (شکل ۶).

بحث و برداشت کلی

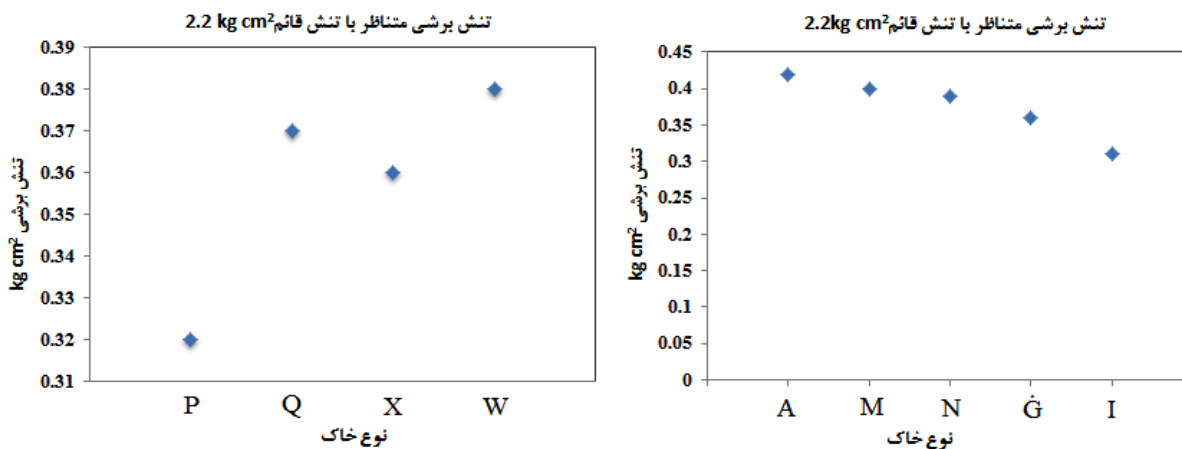
خاک‌های استفاده شده در این پژوهش در دو گروه خاک‌های غیر چسبنده (درشت‌دانه) و چسبنده (ریزدانه) قرار دارند [۲۵]. از دیدگاه مهندسی، خاک‌های درشت‌دانه ظرفیت باربری و قابلیت زهکشی بالایی دارند. تغییرات حجم و مقاومت با تغییر درصد رطوبت تعبیر نمی‌کند. وقتی متراکم باشند، غیر قابل تراکم‌اند؛ ولی وقتی نرم باشند، تغییر حجم بالایی خواهند داشت. ارتعاش تغییرات حجمی خاک دانه‌ای شل را سرعت می‌بخشد که این با تغییرات در چگونگی هندسی (بافت خاک) و تبدیل به خاک تراکم حاصل خواهد شد. به طور کلی،

درشت‌دانه تهران ارتباط مستقیمی با بافت اولیه آنها نشان دادند که سیمان کربناتی در رسوب‌هایی که مواد ریز دانه‌ی کمتر از حدود ۱۵ درصد دارند، ذرات درشت خاک را به طور مستقیم به یکدیگر وصل می‌کند ولی در شرایطی که مواد ریزدانه آنها بیش از مقدار معینی باشد، مواد ریزدانه به صورت خمیره‌ای ذرات درشت را فراگرفته و در نتیجه مقاومت خاک بیشتر تحت تاثیر سرشتی‌های مواد ریز دانه قرار می‌گیرد. نتایج آزمون‌های درجا و آزمایشگاهی نشان داد که سیمانی شدن موجب افزایش مقاومت و سفتی خاک شده و رفتار خاک در موقع گسیختگی را از حالت خمیری به حالت شکننده تغییر می‌دهد. همچنین با افزایش سیمانی شدن، پوشش گسیختگی خاک انحنای بیشتری پیدا می‌کند [۲۷].

سرشتی‌های مهندسی این خاک‌ها به اندازه‌ی ذرات و ترتیب ساختاری بستگی دارد. ولی خاک‌های ریزدانه در مقایسه با خاک‌های درشت دانه ظرفیت باربری ضعیف و نفوذپذیری پایینی دارند. با تغییر درصد رطوبت، تغییر در حجم و مقاومت آنها حاصل می‌شود. به عبارت دقیق‌تر، سرشتی‌های مهندسی آنها به وسیله‌ی فاکتورهای کانی‌ها کنترل می‌شود و به اندازه‌ی ذرات وابسته نیست. حتی لایه‌های نازک از خاک‌های ریزدانه که در درون لایه‌های رسوبی ضخیم از خاک درشت دانه قرار داشته باشند، باعث گسیختگی ژئوتکنیکی خواهد شد [۲۶، ۲۵]. حائری و همکاران [۲۷] در این زمینه نوع و مقدار سیمان موجود و تاثیر آن بر مقاومت مواد درشت‌دانه آبرفتی را بررسی کردند. تاثیر سیمانی شدن بر ویژگی‌های مکانیکی آبرفت‌های



شکل ۵ نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره خاک‌های ریزدانه (Q, W, X)



شکل ۶ تنش برشی خاک‌های (A, M, N, G, I) و خاک‌های (P, Q, X, W)

نمک اگر کم باشد سبب پراکنده شدن ذرات و اگر نمک بالا باشد نقش فولوکوله‌کنندگی داشته است. در خاک‌های درشت دانه، با افزایش رس فیبری و نمک، رطوبت بهینه خاک افزایش می‌یابد. دلیل آن جذب بیشتر آب به‌وسیله‌ی نمک و رس‌های فیبری است.

افزایش شوری سبب افزایش مقاومت برشی خاک شده است. حضور کانی‌های فیبری در خاک درشت دانه، سبب کاهش نیروی برشی شده است. خلاصه اینکه با افزایش نمک و کاهش رس، مقاومت برشی افزایش یافته است. مقاومت برشی خاک خشک در همه موارد نسبت به مقاومت برشی خاک مرطوب بیشتر است.

تاثیر شوری دو رودخانه شور کوچای و آجی چای روی خواص مهندسی خاک‌های ریزدانه (CL) استفاده شده در هسته سد کرچای توسط اجل لوثیان و همکاران [۳۴] بررسی شد. نتایج آزمون‌ها نشان داد که با افزایش شوری حدود اتربرگ، شاخص فشاری، شاخص انبساط، ضریب تراکم پذیری حجمی و قابلیت فشردگی کاهش و ضریب تحکیم و پارامترهای مقاومت برشی افزایش یافته است. مهمترین دلیل این تغییرات به افزایش نیروی جذب بین ذرات و پیوند بین آنها و تشکیل بلورهای نمک در منافذ خاک و نقش سیمان بازی نسبت داده شده است. با توجه به درصد کم رس در این خاک‌ها، مقدار کمی از این تغییرات در ارتباط با کاهش ضخامت لایه‌ی دو گانه است. اگرچه غلظت آب‌های شور تفاوت فاحشی با یکدیگر دارند، ولی تفاوت بین سرشتی‌های خاک با این دو آب قابل توجه نیست. به نظر می‌رسد که نرخ تغییرات سرشتی‌های خاک با افزایش شوری، کاهش می‌یابد. می‌توان گفت که غلظت زیاد آب باعث می‌شود که کاتیون‌ها در آب با آنیون‌ها ترکیب و قبل از تاثیر آنها روی کانی‌های رسی تولید نمک نمایند. رسوب کردن این نمک‌ها روی سطح ذرات خاک و منافذ خاک، محتوای سطح ذرات خاک با آب را کاهش داده است. بنابراین افزایش غلظت آب باعث تغییرات معنی‌دار در رفتارهای خاک نخواهد شد. تست تحکیم نشان داد که رفتار سه نوع آب در فشار بالا شبیه هم است. دلیلش می‌تواند شکستن پیوند بین ذرات در فشار بالا باشد. اگرچه غلظت سدیم در دو نوع آب

مسعودی و همکاران [۲۸]، پژوهشی به منظور بررسی رفتار مکانیکی و رفتار تنش کرنش مصالح سنگدانه‌های و تعیین پارامترهای مقاومتی که در بیشتر طرح‌های عمرانی مانند طراحی پی‌ها، دیوارهای حائل و خاکریزها اهمیت دارند، انجام دادند تا بتوانند مدل رفتاری مناسبی که گستره‌ی گسترده‌ای خاک‌ها را تحت گستره‌ی خود قرار می‌دهد شناسایی کنند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد درشت دانه در مخلوط، یعنی منحنی پایه مقاومت برشی مخلوط شن و ماسه افزایش می‌یابد. این فرایند بیشتر به دلیل افزایش اتساع نمونه با توجه به منحنی‌های تغییر حجم نمونه است که با افزایش اتساع نمونه‌ها با ازدیاد درصد شن در مخلوط، قفل و بست بین دانه‌ها و درگیری آنها بیشتر شده و با افزایش تراکم نسبی، مقاومت برشی مخلوط افزایش می‌یابد. در تراکم‌های نسبی بالاتر، حالت متراکم‌تری در مخلوط ایجاد شده و تماس بین دانه‌ها و قفل و بست بین آنها شدیدتر می‌شود. در نتیجه بر مقاومت برشی مخلوط با افزایش تراکم نسبی افزوده می‌شود. افزایش درصد شن همانند تأثیر بر مقاومت برشی مخلوط، تأثیر قابل توجهی بر زاویه‌ی اصطکاک خاک می‌گذارد. البته تراکم نسبی مخلوط موجب افزایش زاویه‌ی اصطکاک خاک می‌شود؛ ولی این افزایش در مقایسه با افزایش درصد شن قابل توجه نیست. در آزمایش‌های انجام شده روی مصالح با دانه‌بندی مختلف، مشخص شد که مصالح با دانه‌بندی درشت‌تر اتساع و مقاومت بیشتری را از خود نشان می‌دهند. رفتار برشی خاک‌های درشت‌دانه توسط پژوهندگان متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله می‌توان به پژوهش‌های [۲۹-۳۳] اشاره کرد.

در این پژوهش، افزایش نمک در خاک‌های درشت دانه با رس کم و غیر فیبری، سبب افزایش در لای و میزان کمی رس خاک می‌شود، ولی مقدار ماسه در خاک کاهش می‌یابد. دلیل آن می‌تواند پراکنده‌شدن ذرات خاک و افزایش درصد ذرات ریز دانه خاک باشد. اما در خاک‌های درشت دانه با رس فیبری و مقدار رس بیشتر، تغییر محسوسی در دانه‌بندی مشاهده نشده است. علت آن می‌تواند جاذب بودن رس فیبری باشد که سدیم را جذب کرده و نقش آن در تغییر دانه‌بندی حذف می‌شود. در خاک‌های درشت دانه با رس کلریتی و ایلیتی، در رس بالا،

حد روانی می‌شود. با افزایش غلظت شوری، شاخص فشردگی کاهش و روانی هیدرولیکی افزایش می‌یابد [۳۸-۴۰].

در این پژوهش، در خاک‌های ریزدانه (کلرایت، ایلایت، مونتموریلونیت)، با افزایش نمک، درصد ذرات با اندازه رس کاهش و مقدار ذرات با اندازه ماسه افزایش یافته است. همزمان نمک نقش فولوکوله و پراکنده کنندگی داشت، ولی با افزایش نمک نقش فولوکوله کنندگی بیشتر شده است. در خاک‌هایی که علاوه بر رس‌های موجود شامل رس‌های فیبری نیز هستند؛ افزایش نمک کم سبب فولوکوله کنندگی، اما افزایش بیشتر نمک سبب پراکنده شدن خاک شده است. شوری و نوع کانی-شناسی، تاثیرات چشمگیری روی حدود اتربرگ خاک‌ها داشته است. رس‌های فیبری سبب شدند که با افزایش شوری، حدود اترگ کاهش یابد. خاک‌های ریزدانه با افزایش نمک رطوبت بهینه کمتری از خود نشان دادند. رس‌های فیبری نسبت به رس‌های مونت موریلونیت رطوبت بهینه بیشتری داشتند. افزایش نمک در خاک‌های ریزدانه، تغییرات کمتری در رطوبت بهینه‌ی خواهد داشت.

مقاومت فشاری تک محوری خاک، با افزایش نمک و کانی-های فیبری، افزایش یافته است. افزایش نمک و کانی فیبری به جای مونت‌موریلونیت، مقاومت خاک را بهبود بخشیده است. علت آن می‌تواند کاهش انبساط‌پذیری کانی‌های فیبری و شدت جذب آنها نسبت به مونت‌موریلونیت باشد.

حضور کانی‌های فیبری اثر مساعدتری نسبت به مونت-موریلونیت روی مقاومت خاک‌ها در حالت خشک و مرطوب دارد. خلاصه اینکه هر چه نسبت کانی‌های فیبری به مونت‌موریلونیت بیشتر شود، مقاومت خاک افزایش می‌یابد.

مراجع

[1] Tajgordan T.S., Ayobi S., Shataei F., Khormali F., "Preparation of surface soil salinity using of remote sensing ETM (Case study: North Aghla: Golestan province)", Journal of research water and soil protect, Vol. 16, pp. 1- 18, (2008).

[۲] بشارتی کلایه ح.، "بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش جذب برخی از عناصر

بالاست، ولی پراکنده‌گی خاک در آنها مشاهده نشده است. و تاثیر منفی روی خواص مهندسی هسته سد نداشته است.

قاجار و همت [۳۵] اثر شوری بر پارامترهای تنش برشی خاک‌های ریزدانه را در سه سطح شوری ۴، ۹، و ۱۲ دسی زیمنس بر متر بررسی کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که با افزایش شوری، زاویه‌ی اصطکاک داخلی کاهش یافت. چسبندگی خاک با افزایش شوری از EC ۴ به ۹ دسی زیمنس بر متر، کاهش ولی با افزایش EC از ۹ به ۱۳ دسی زیمنس بر متر به طور معنا داری افزایش یافت. تاجنین و همکاران [۳۶] تاثیر شوری و pH را روی خواص ژئوتکنیکی این خاک‌ها مورد بررسی قرار دادند. شوری به طور مستقیم اثر سختی و نیز خواص مقاومتی خاک می‌گذارد. نتایج نشان داد که خواص مهندسی خاک براساس نوع نمک موجود تغییر می‌کند؛ به طوریکه تغییرات خاک‌ها و نمک‌های مختلف، متفاوت است. در خاک‌های موجود بیشتر شوری از نوع سدیم کلراید (حدود ۰.۸۵)، با مقادیر کمتری، به ترتیب کاهش غلظت، سولفات، منیزیم، کلسیم و پتاسیم است. بنابراین فقط یون کلرید در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. وزن مخصوص خاک‌ها تقریباً شبیه هم بودند و تفاوتی دیده نشد. مقدار رطوبت با شوری کاهش یافت ولی تا رسیدن به قله افزایش و سپس شروع به کاهش PH کرد. حد انقباض و خمیری با شوری و PH کاهش یافت. حد روانی و وزن واحد با شوری افزایش ولی با PH کاهش یافت. مقاومت برشی زهکشی نشده، شاخص تراکم مجدد با PH و شوری افزایش یافت. شاخص فشار با افزایش شوری افزایش یافت اما با پ هاش تغییر نکرد.

آناند هانارایانان و کوروگایان [۳۷] مروری بر تاثیر محلول-های شور و آب دریا روی سرشتی‌های ژئوتکنیکی انجام دادند. بررسی متعدد توسط آنان نشان داد که آب دریا و محلول شور چگالی خشک را افزایش و رطوبت بهینه خاک را کاهش می‌دهد. ظرفیت کاتیونی بالاتر منجر به افزایش بیشتر چگالی خشک بهینه و کاهش بیشتر رطوبت بهینه می‌شود. با افزایش غلظت نمک و آب دریا حجم انبساطی و حد روانی کاهش می‌یابد. ظرفیت کاتیونی و غلظت نمک بالاتر باعث کاهش بیشتر

American Journal of Applied science, Vol. 2, pp. 1121-1128, (2005).

[16] Oates J.A.H., "Lime and limestone", John Willey and Sons Publishing Company, (1998).

[17] Bengt B.B., "Ground improvement", John Willey and Sons Publishing Company, (1993).

[18] Al-Homoud A.S., Basma A.A., "Cyclic Swelling Behaviour of clays", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 121, pp.562-565, (1995).

[19] Azma S., Abduljauwad S.N., Al -Amoudi O.S.B., "Volume Change Behavior of Arid Calcareous Soils", Journal of Natural Hazards Review, Vol. 4, pp. 90-94, (2003).

[20] Singer A., "Palygorskite and sepiolite - the enigmatic clay minerals", BerichtederDeutschen Ton- und Tonmineralgruppe, Band 9, pp. 203-216, Wien, (2002).

[21] Ouhadi V.R., Yong R.N., "The role of clay fractions of marly soils on their post stabilization failure", Engineering Geology, Vol. 70, pp. 365-375, (2003).

[22] Neaman A., Singe A., "Rheology of mixed palygorskite montmorillonite suspensions", Clays and Clay Minerals, Vol. 48, pp. 713-715, (2000).

[23] Mehra O.P., Jackson M.L., "Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system with sodium bicarbonate", Clays Miner. Vol. 7, pp. 317-327, (1960).

[24] Kittrick P., Hope E.W., "A procedure for particle size separations of soils for X-Ray diffraction", Soil Sci. Soc. Am. Proc., Vol. 35, pp. 621-626, (1971).

[۲۵] داس ب.م، "اصول مهندسی ژئوتکنیک". جلد اول-مکانیک خاک، ترجمه طاحونی، ش. ویرایش دوم، چاپ هفدهم، مؤسسه انتشاراتی پارس آئین، ۸۳۱ ص، (۱۳۸۷).

[۲۶] بهنیا ک، طباطبایی ا.، "مکانیک خاک"، چاپ یازدهم، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۴۵۷ ص، (۱۳۸۴).

[۲۷] حائری م، یثربی ش، ارومیه‌ای ع، اصغری ا، "ویژگیهای زمین شناسی مهندسی آبرفتهای درشت دانه و سیمانی شده تهران"، علوم زمین، ۱۱(۴۸-۴۷): ۱۵-۲، (۱۳۸۲).

[۲۸] مسعودی ب، آذینی ا، حمیدی ا، "بررسی تاثیرات دانه بندی بر ویژگیهای مقاومت برشی خاکهای مخلوط شن و ماسه ای"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، اردیبهشت، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، (۱۳۹۰).

[29] Bolton M.D., "The strength and dilatancy of sands", Geotechnique, Vol. 36 pp. 65- 78, (1986).

درخاک، پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، (۱۳۷۷).

[3] Davan M.L., Famouri J., "The soils of Iran", Iranian Ministry of Agriculture and FAO of the UN. 31p, (1964).

[4] Jian-li D., Man-chun W., Tiyip T., "Study on Soil Salinization Information in Arid Region Using Remote Sensing Technique", Journal of Agricultural Sciences in China, Vol. 10, pp. 404- 411, (2011).

[5] Yu R., Liu T., Xu Y., Zhu C., Zhang Q., Qu Z., Liu X., Li C., "Analysis of salinization dynamics by remote sensing in Hetao Irrigation District of North China", Journal of Agricultural Water Management, Vol. 97, pp. 1952-1960, (2010).

[6] Spugnoli P., Soverini E., Palancar T.C., "Effects of Irrigation with brackish water on soil trafficability and workability", Adv Geocology, Vol. 35, pp. 267-278, (2002).

[7] Levy J., Mamedov A., "Sodicity and water quality effects on slaking of aggregates from semi- arid soils", Soil Science, Vol. 168, pp. 552-562, (2003).

[8] Tedeschi A., Menenti M., "Simulation studies of long-term saline water Use", Agricultural water Management, Vol. 54, pp. 123-157 (2002).

[9] Igwe C.A., Okebalama A., "Soil strength of some Central Eastern Nigeria soils and effect of potassium and sodium on their dispersion", Int. Agrophysics., Vol. 20, pp.107-112, (2006).

[10] Shariatmadari N., Salami Mehran M., Karimpour Fard M., "Effect of inorganic salt solutions on some geotechnical properties of soil/bentonite mixtures as barriers", international journal of civil engineering, (2011).

[11] Sivapullaiah P.V., Manju V., "Kaolinite-alkali interaction and effects on basic properties", Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 23, pp. 601-614, (2005).

[12] Quirk J.P., Schofield R.K., "The effect of electrolyte concentration on soil permeability", J. Soil Sci., Vol. 6, pp. 163-178, (1995).

[13] Ruiz-Vera V.M., Wu L., "Influence of Sodicity, Clay Mineralogy, Prewetting Rate, and Their Interaction on Aggregate Stability", Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 70, pp. 1825-1833, (2006).

[14] Muntohar A.S., Hamtoro G., "Influence of rice huck ash and lime on engineering properties of a clayey subgrade", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, paper 094, Oklahoma state university, USA (2000).

[15] Jahanshahi M., "An improvement method for swell problem in sulfate soils that Stabilized by lime",

- [36] Tajnin R., Abdullah T., Rokonuzzaman M.D., "Study on the salinity and pH and its effect on geotechnical properties of soil in south-west region of Bangladesh", International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering, Vol. 3 pp. 138-147, (2014).
- [37] Anandhanarayanan G., Murugaiyan V., "Effects of Salt Solutions and Sea Water on the Geotechnical Properties of Soil – A Review", International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 3, pp. 1819-1824, (2014).
- [38] Mazzieri F., Emidio G.D., Peter Impe, O.V. "Diffusion of calcium chloride in a modified bentonite: Impact on osmotic efficiency and hydraulic conductivity", Clays and Clay Minerals, Vol. 58, pp.351–363, (2010).
- [39] Cho W.J., Kim J.S., Choi J.W., "Influence of Water Salinity on the Hydraulic Conductivity of Compacted Bentonite", J. of the Korean Radioactive Waste Society, Vol. 9, pp. 199-206, (2011).
- [40] Mishra A.K., "Effect of bentonite quality on the hydraulic and compressibility behaviour of soil-bentonite mixtures in the presence of salt solution", (2011).
- [30] Bareither C.A., Benson C.H., Edil T.B., "Comparison of shear strength of sand backfills measured in small-scale and large-scale direct shear tests", Can. Geotech. J., Vol, 45, pp. 1224-1236, (2008).
- [31] Salimi N., Yazdanjou V., Hamidi A., "Shape and size effects of gravel grains in the shear behaviour of sandy soils", Proceeding of 10th Int. Conf. on Landslides and Engineered Slopes, Chen et al (eds.), China, pp.469-474, (2008).
- [32] Hamidi A., Yazdanjou V., Salimi N., "Shear Strength Characteristics of Sand-Gravel Mixtures", International Journal of Civil Engineering, Vol. 3, pp. 29-38, (2009).
- [33] Hamidi A., Alizadeh M., Soleimani S.M., "Effect of Particle Crushing on Shear Strength and Dilation Characteristics of Sand-Gravel Mixtures", International Journal of Civil Engineering, Vol. 7, pp. 61-71 (2009).
- [34] Ajalloeian R., Mansouri H., Sadeghpour A.H., "Effect of saline water on geotechnical properties of fine-grained soil", EJGE., Vol. 18, pp. 1419-1435, (2013).
- [۳۵] قاجار ا.، همت ع.، "بررسی اثر شوری بر مقاومت برشی خاک و پارامترهای آن. اولین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست، شهرپور، کرمان، ایران، (۱۳۹۳).