بررسی اثر شوری آب بر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های ریزدانه

رسول اجل لوئیان*، حدیثه منصوری: دانشگاه اصفهان،
امیرحسین صادقپور: دانشگاه کاشان،

تاریخ: دریافت ۹۱/۱۱/۲۹ **پذیرش** ۹۲/۲/۲۲

چکیده

در این تحقیق، تأثیر شوری آب بر خصوصیات مهندسی خاک ریزدانه استفاده شده در هستهٔ سد کرچای واقع در شرق تبریز بررسی شده است. بدین منظور از آب نیمه‌شور رودخانه آجی چای (TDS بیش از ۱۸۷۷ پی‌پی‌ام) و آب شور سرشاخه کرچای (TDS بیش از ۹۷۰۰۰ پی‌پی‌ام) نمونه‌هایی استحصال شد. در آزمایشگاه آزمایش‌های حدود آتربرگ، تراکم، نفوذپذیری، مقاومت تراکمی تک‌محوره، برش مستقیم، تورم آزاد و واگرایی (کرامب، هیدرومتری دوگانه و پین هول) با آب مقطر، آب نیمه‌شور و آب شور انجام گردید. نتایج حاکی از کاهش حدود آتربرگ و افزایش در ضریب نفوذپذیری و پارامترهای مقاومت برشی خاک با افزایش شوری آب منفذی است. شوری آب تأثیری بر مدت زمان تورم نداشته و تورم اولیه خاک بعد از ۱۸۰ دقیقه پایان یافت. تورم با استفاده از آب نیمه‌شور ۳۲ درصد کاهش و با استفاده از آب شور ۲۳ درصد افزایش یافت. با توجه به بیش‌تر بودن درصد کاتیون‌های دو ظرفیتی در آب نیمه‌شور نسبت به آب شور، فشار تورم با استفاده از آب نیمه شور، کاهش بیش‌تری نشان داد. اگر چه درصد سدیم در آب‌های شور و نیمه‌شور زیاد است، اما هیچ رفتار واگرایی با استفاده از آن‌ها مشاهده نشد. در کل با توجه به درصد کم کانی‌های رسی فعال در خاک، تغییرات ایجاد شده در خصوصیات ژئوتکنیکی خاک چشم‌گیر نیست. اکثر نتایج به‌دست آمده به افزایش نیروی جاذبه در بین ذرات خاک با املاح موجود در آب و تشکیل ساختار لخته‌ای نسبت داده شده است.

واژه‌های کلیدی: شوری آب، خاک ریزدانه، سد خاکی کرچای، خواص مهندسی رس

* نویسنده مسئول rasajl@sci.ui.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

ویژگی‌های آب استفاده شده در برخی فعالیت‌های عمرانی نظیر تهیه بتن، با آئین‌نامه و استانداردهای بین المللی به‌طور واضح ارائه شده است، اما استاندارد خاصی برای حداقل خصوصیات آب استفاده شده در کارهای خاکی- نظیر ساخت سدهای خاکی- وجود ندارد. اگر چه سازه‌های خاکی به‌اندازهٔ سازه‌های بتنی تحت تأثیر ویژگی‌های آب در تماس با آن قرار ندارند، ولی تأثیرات خصوصیات آب منفذی بر روی مصالح بدنه این سدها به‌ویژه مصالح بخش هسته ریزدانه سد، در شرایط خاص ممکن است قابل توجه باشد.

به‌طورکلی از آن‌جا که خاک‌های ریزدانه دارای درصد زیادی از کانی‌های رسی هستند، رفتار ژئوتکنیکی آن‌ها به خصوصیات شیمیایی سیال منفذی بستگی دارد. این درحالی است که معمولاً در آزمایشگاه از آب شرب برای تأمین رطوبت مورد نیاز خاک استفاده می‌شود و این امر سبب تفسیر نادرست از خواص مهندسی خاک در شرایط استفاده از آب‌های خاص می‌گردد. بنا بر این در مواردی که از آب غیرشرب موجود در محل برای تأمین رطوبت خاک در پروسه عمل‌آوری هسته سدهای خاکی استفاده می‌شود باید بررسی خصوصیات رفتاری مصالح نیز با همان آب بررسی شود.

در این مقاله اثر شوری آب بر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های ریزدانه بررسی شده است. بررسی موردی این تحقیق بر روی پروژهٔ آجی چای در شمال‌غرب ایران انجام شده است. این پروژه شامل یک سد اصلی به نام سد ونیار است که بر روی رودخانه آجی چای احداث می‌گردد. چون آب تعدادی از سرشاخه‌های این رودخانه شور است و طبعاً سختی زیادی دارند، بنا بر این به‌منظور بهبود کیفیت آب ورودی به مخزن اصلی، در بالادست آن تعدادی سد خاکی بر روی سرشاخه‌های شور رودخانه احداث می‌شود تا با انتقال آب شور به حوزه‌های مجاور، از ورود آن به مخزن سد ونیار جلوگیری کند. سد کرچای از نوع خاکی با هستهٔ رسی یکی از این سدها است که بر روی سرشاخه‌ای با همین نام احداث می‌شود تا از ورود آب شور این سرشاخه به مخزن سد ونیار جلوگیری کند. از آن‌جا که فاصلهٔ زیادی بین ساخت‌گاه سد تا محل آب قابل شرب وجود دارد، در نظر است عمل‌آوری مصالح هسته

Archive of SID

www.SID.ir

ریزدانه این سد با همان آب شور سرشاخه انجام شود. اما با وجود سختی و TDS زیاد آب (۹۷۰۰۰ پی‌پی‌ام)، تأثیر آن بر رس هسته با شک و تردید همراه است که در این تحقیق بررسی شده است. بنا بر این در این تحقیق از آب سرشاخه کرچای به‌عنوان آب شور و آب رودخانه اصلی آجی چای به‌عنوان آب نیمه‌شور استفاده شده و در آزمایشگاه اثر سه نوع آب شور، نیمه‌شور و آب مقطر بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک ریزدانه استفاده شده در هستهٔ سد کرچای بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام شده در این تحقیق شامل حدود آتربرگ، تراکم استاندارد، نفوذپذیری، مقاومت تراکمی تک محوره، مقاومت برشی، تورم و واگرایی (کرامب، هیدرومتری دوگانه، پین هول) است. در این قسمت توضیح مختصری از روش اجرای هر آزمون ارائه می‌شود:

آزمایش حدود آتربرگ بر اساس استاندارد ASTM D٤٣١٨ بر روی مصالح عبوری از الک شماره ۱۰۰ انجام شد. در مورد آب‌های شور و نیمه‌شور این آزمون در زمان‌های ۰، ٢٤ و ٤٨ ساعت بعد از مخلوط شدن خاک و آب انجام گردید.

آزمایش تراکم استاندارد به‌منظور بررسی نوع آب بر رطوبت بهینه و دانسیتهٔ خشک حداکثر، آزمایش تراکم استاندارد با استفاده از هرسه نوع آب بر اساس استاندارد ۷۰-٦٩٨ ASTM D و روش A بر روی مصالح عبوری از الک ٤ انجام شد. در مورد آب شور این آزمون هم‌چنین در زمان‌های ٢٤ و ٤٨ ساعت بعد از مخلوط شدن خاک و آب انجام شد.

آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوره مطابق با استاندارد ASTM D٢١٦٦ با استفاده از سه نوع آب استفاده شده در این پژوهش انجام پذیرفت. بدین منظور مصالح عبوری از الک ۱۰ (۲ میلی‌متر)، با رطوبت بهینه در قالب دوتکه‌ای و در سه لایه با ۲۵ ضربه متراکم گردیدند.

آزمایش برش مستقیم بر اساس استاندارد ASTM D٢٤٣٥ بر روی مصالح عبوری از الک ٤ انجام گردید. بدین منظور خاک با رطوبت بهینه در قالب دستگاه (۱۰×۱۰ میلی‌متر) متراکم

Archive of SID

www.SID.ir

شد. تنش‌های استفاده شده ۰/۵، ۱ و ۲ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع و سرعت برش ۰/۳۵ میلی‌متر بر دقیقه بود. قبل از برش در هر تنش، نمونه به‌مدت ٢٤ ساعت تحت همان تنش غرقاب شد و تحکیم یافت.

آزمایش تورم بر اساس استاندارد ASTM D٤٥٤٦ و به‌روش A انجام پذیرفت. در این روش مقدار تورم نمونه خاک تحت سربار اولیه دستگاه (۱ کیلوپاسکال) در طول زمان اندازه‌گیری می‌شود. پارامترهای محاسبه شده در این آزمون درصد بالازدگی و فشار تورم است. منظور از فشار تورم، فشار مورد نیاز برای بازگرداندن نمونهٔ خاک به وضعیت اولیه (ارتفاع یا نسبت منافذ) است.

ارزیابی پتانسیل واگرایی خاک به‌روش کرامب آزمون بر روی مصالح عبوری از الک ٦٠ و بر اساس استاندارد ASTM D٦٥٧ انجام گرفت. بدین منظور مکعب‌هایی به ابعاد ۱×۱×۱ سانتی‌متر با رطوبت بهینه آماده شده و در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب قرار داده شد. واکنش آن‌ها در زمان‌های ۲ دقیقه، ۱ ساعت و ٦ ساعت بررسی شد.

در آزمایش هیدرومتری دوگانه دانه‌بندی خاک ابتدا مطابق با استاندارد آزمایش هیدرومتری یعنی با استفاده از هم‌زن مکانیکی و مادهٔ پراکنده‌ساز شیمیایی انجام می‌شود. سپس آزمایش دیگری بر روی نمونه‌ای مشابه اما این بار بدون استفاده از هم‌زن مکانیکی و ماده پراکنده‌ساز انجام می‌شود. درصد واگرایی خاک در این آزمایش به‌صورت نسبت درصد ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر در آزمایش دوم به آزمایش اول بیان می‌شود.

آزمون پین هول بر اساس استاندارد ASTM ٤٦٤٧ و روش A بر روی مصالح عبوری از الک ٦٠ انجام گرفت. بدین منظور خاک با رطوبت بهینه در قالب دستگاه و در سه لایه با ۲۵ ضربه متراکم گردید. ایستایی‌های اعمال شده ۵۰، ۱۸۰، ۳۸۰ و ۱۰۲۰ میلی‌متر است که اولین ایستایی به‌مدت ۱۰ دقیقه و بقیه به‌مدت ۵ دقیقه بر روی نمونه اعمال شد. معیارهای ارزیابی واگرایی در روش A میزان جریان خروجی، شفافیت آب و اندازهٔ نهایی سوراخ است.

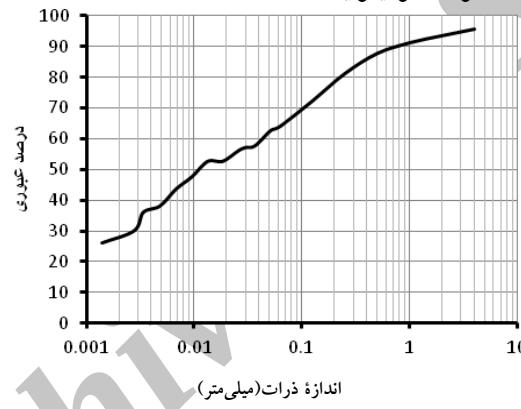
Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

خصوصیات پایه خاک و آب

خاک استفاده شده در هستهٔ سد، خاکی ریزدانه از نوع CL است که منحنی دانه‌بندی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، خاک دارای ۳۷٪ گراول و ماسه، ۳۵٪ سیلت و ۲۸٪ رس است. به‌منظور شناسایی کانی‌های رسی خاک، آنالیز XRD بر روی خاک عبوری از الک ۷۵ میکرون انجام شد. نتایج این آنالیز در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس آنالیز XRD، بخش ریزدانه خاک عمدتاً شامل کوارتز، کلسیت، دلومیت و ژیپس است و کانی رسی آن تنها ۵٪ مونت موریلونیت است.



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی خاک بررسی شده

جدول ۱. نوع و درصد کانی‌های شناسایی شده با آنالیز XRD

نام کانی	فرمول	درصد
کوارتز	SiO_2	۱۲/۹
کلسیت	$CaCO_3$	۱۸/۹
مونت موریلونیت	$NaMgAlSiO_2(OH)H_2O$	۵/۲
آلبیت	$NaAlSi_3O_8$	۹
دولومیت	$CaMg(CO_3)_2$	۱۹/۳
مسکویت	$Kal_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	۵/۸
کلینوکلر	$(Mg,Fe)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	۵/۸
ژیپس	$CaSO_4.2H_2O$	۲۳/۱

Archive of SID

www.SID.ir

غلظت چهار کاتیون اصلی کلسیم، سدیم، پتاسیم و منیزیم در آب‌های استفاده، شده به‌روش جذب اتمی تعیین شد. نتایج این آنالیز در جدول ۲ نشان داده شده است. مجموع این چهار کاتیون در آب نیمه‌شور و شور به‌ترتیب ۱۸۷۷ و ۹۷۰۲۰ پی‌پی‌ام است. در آب شور، سدیم ۹۹ درصد از کل کاتیون‌ها را به‌خود اختصاص داده است. لازم به ذکر است که این کاتیون در افزایش ضخامت لایه دوگانه و کاهش نیروی جاذبه در بین ذرات و بروز رفتارهایی مانند واگرایی نقش اساسی را ایفا می‌کند.

جدول ۲. نتایج آنالیز آب‌های استفاده شده (غلظت‌ها بر حسب پی‌پی‌ام)

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	TDS
آب مقطر	۰/۸۲	۰/٤	۳	۰/۰۸	٤/۳
آب نیمه شور	۹۲	٤۲	۱۷۳۹	٤/٦	۱۸۷۷/٦
آب شور	٦۷۸	٦٤۸	۹٥٦٥۲	٤۲	۹۷۰۲۰

تأثیر شوری آب بر حدود آتربرگ

میانگین نتایج این آزمون در جدول ۳ نشان داده شده است. از نتایج مشخص می‌شود که تأثیر املاح موجود در آب بر حد خمیری ناچیز است. علت آن می‌تواند رطوبت کم خاک در حد خمیری باشد که سبب می‌شود اندرکنش ذرات خاک و کاتیون‌های موجود در آب انجام نشود. اما در حد روانی که رطوبت خاک بیش‌تر می شود به‌مراتب تأثیر نوع آب بیش‌تر خواهد شد. به‌طوری که آب نیمه‌شور باعث کاهش ۵ درصدی و آب شور باعث کاهش ۱۷ درصدی در حد روانی شده است. در پژوهش‌هایی که علمدار (۱۳۷۸)، ماحسنه[۱] (۲۰۰٤)، منصور[۲] و همکاران (۲۰۰۸) و یوکسلن[۳] و همکاران (۲۰۰۸) انجام داده‌اند، نیز استفاده از آب شور باعث کاهش حد روانی خاک شده است. منصور و همکاران (۲۰۰۸) کاهش حد روانی خاک در اثر اضافه شدن آب شور دریای مرده را به‌حضور کاتیون‌هایی با ظرفیت زیاد در آب شور نسبت داده‌اند که به موجب آن‌ها نیروی دافعه در بین ذرات کاهش یافته و ذرات به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند. تجمع ذرات سطح تماس آن‌ها با آب را کاهش داده و بدین ترتیب حدود آتربرگ در اثر اضافه شدن آب شور کاهش یافته است. ماحسنه (۲۰۰۸) کاهش حد روانی و شاخص خمیری با آب شور را به جانشینی مولکول‌های آب با نمک نسبت داده است که سبب کاهش ضخامت لایه دوگانه و کاهش رطوبت خاک و درنتیجه سفت تر شدن ساختار خاک گردیده است.

۱. Mahasaneh ۲. Mansour ۳.Yukselen

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. نتایج آزمون حدود آتربرگ

	آب مقطر	آب نیمه شور			آب شور		
زمان	۰	۰	۲٤ h	٤۸ h	۰	۲٤ h	٤۸ h
حد خمیری	۲۱/۳	۲۰/٤	۱۹/۱	۲۰/۱	۲۰/۱	۲۰/۸	۱۹/٤
حد روانی	۲۹/۹	۲۸/٤	۲۸/۳	۲۸/۱	۲٤/۹	۲۵/۳	۲٦/۵
شاخص خمیری	۸/٦	۸	۹/۲	۸	٤/۸	٤/۵	۷/۱

در این پژوهش علت کاهش حد روانی خاک مخصوصاً به هنگام اضافه شدن آب شور را می‌توان به‌طور عمده متأثر از رسوب نمک در خاک و در نتیجه افزایش جرم بخش جامد خاک دانست که سبب شده است در محاسبه درصد رطوبت، مخرج کسر بزرگ شده و در نتیجه کل کسر کوچک شود و سهم کم‌تری را به کاهش ضخامت لایهٔ دوگانه در اثر افزایش غلظت آب اختصاص داد. زیرا از طرفی آنالیز XRD انجام شده بر روی خاک نشان داد که درصد کانی مونت موریلونیت خاک در حدود ۵ درصد است و از سوی دیگر بعد از خشک شدن خاک بلورهای نمک قابل رؤیت بود. از این رو وقتی می‌توان به‌طور قطع اظهار نظر کرد که آب شور سبب کاهش حد روانی و کاهش فعالیت خاک شده است که بتوان جرم نمک اضافه شده به خاک را به‌نوعی حذف کرد و آن‌گاه به محاسبهٔ درصد رطوبت پرداخت. کاهش شاخص خمیری با افزایش شوری آب نیز به‌علت کاهش حد روانی خاک است و به‌طور قطع نمی‌توان گفت که نشان از کاهش فعالیت خاک دارد.

تأثیر شوری آب بر پارامترهای تراکم خاک

نتایج مربوط به سه بار انجام این آزمون در جدول ٤ نشان داده شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود تفاوت مشخصی بین وزن مخصوص حداکثر و رطوبت بهینه ایجاد نشده است. در پژوهش‌های امامی آزادی[۱] (۲۰۰۸)، منصور و همکاران (۲۰۰۸)، آلیناچی[۲] و العبیدی[۳] (۲۰۱۰) و شریعتمداری[٤] و همکاران (۲۰۱۱) با افزایش شوری آب، رطوبت بهینه کاهش و دانسیته حداکثر افزایش یافته است. دلیل این تغییرات در این بررسی‌ها به کاهش ضخامت لایهٔ دوگانه و

۱. Emami Azadi ۲. Alainachi ۳. Alobaidi ۴. Alobaidi

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش نیروی جاذبه در بین ذرات رس در اثر افزایش غلظت آب منفذی نسبت داده شده است. اما در پژوهش حاضر هم‌چنین در پژوهشی که علمدار (۱۳۷۸) انجام داده است تغییر چندانی در پارامترهای تراکم خاک با افزایش شوری آب مشاهده نشده است. این تغییرات اندک را می‌توان به اشباع نبودن خاک و عدم غوطه‌وری ذرات در آب نسبت داد که اجازهٔ اندرکنش ذرات خاک و املاح موجود در آب و درنتیجه کاهش ضخامت لایهٔ دوگانه را نداده است. یکی از نظریه‌هایی که در زمینهٔ تأثیر لایهٔ دوگانه بر رفتار خاک‌های رسی وجود دارد نیز معتقد است که لایه دو گانه بر خصوصیات ژئومکانیکی رس‌هایی که حالت دوغاب دارند تأثیرگذار است اما این تئوری نمی‌تواند برای تفسیر رفتار خاک‌های متراکم شده استفاده شود [۱۲]. هم‌چنین با توجه به اشباع نبودن خاک در این حالت، مقدار نمکی که در آن رسوب می‌کند در حدی نیست که سبب افزایش ظاهری وزن مخصوص و کاهش ظاهری رطوبت بهینه گردد. با توجه به درصد کم کانی‌های فعال در خاک، تأثیر اندک املاح موجود در آب نیمه‌شور و شور بر رطوبت بهینه و دانسیته حداکثر منطقی به‌نظر می‌رسد.

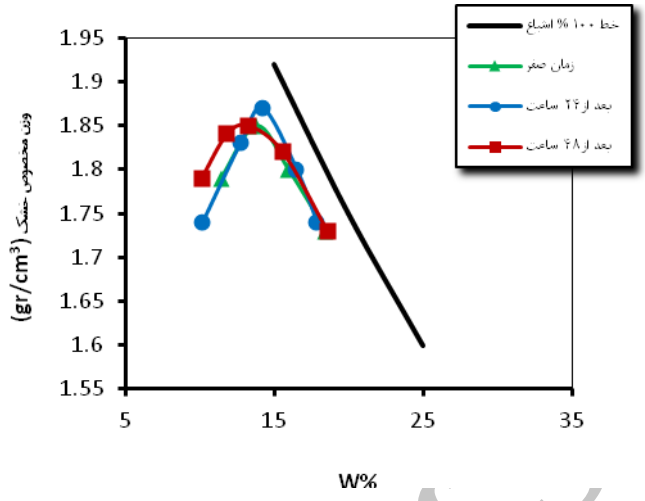
جدول٤. نتایج سه بار انجام آزمون تراکم

شماره آزمایش	آب مقطر		آب نیمه شور		آب شور	
	γ_d (gr/cm^3)	Wopt%	γ_d (gr/cm^3)	Wopt%	γ_d (gr/cm^3)	Wopt%
۱	۱/۸٦	١٤	۱/۸٥	١٣/٦	۱/۸٥	١٣/٧٨
۲	۱/۸٥	١٤/٧	۱/۸۳	١٥/٨	۱/۸۷	١٤
۳	۱/۸٥	١٣/٢٥	۱/۸٦	١٤	۱/۸۹	١٣
میانگین	۱/۸٥۳	١٣/٩٨	۱/۸٤۷	١٤/٤٦	۱/۸۷	١٣/٥٩

در مورد آب شور، آزمایش تراکم در زمان‌های ٢٤ و ٤٨ ساعت بعد از تماس خاک با آب مورد نظر نیز انجام گرفت. در شکل ۲ منحنی تراکم خاک با آب شور در زمان‌های مختلف نشان داده شده است. چنان‌چه دیده می‌شود، در این‌جا نیز مانند حدود آتربرگ، عامل زمان نقشی در تغییر رطوبت بهینه و وزن مخصوص حداکثر نداشته است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. منحنی تراکم خاک با آب شور در زمان‌های مختلف

تأثیر شوری آب بر نفوذپذیری

ضریب نفوذپذیری با استفاده از آب مقطر، نیمه‌شور و شور به‌ترتیب $۱/۹۸\times۱۰^{-۸}$، $۲/۹\times۱۰^{-۸}$ و $۳/۴۸\times۱۰^{-۸}$ سانتی‌متر بر ثانیه است. یانگ[۱] و همکاران (۱۹۹۲) نتیجه گرفته‌اند که افزایش در غلظت محلول‌های نمکی مخصوصاً NaCL با کاهش نیروی دافعه در بین صفحات منفی کانی‌های رسی، موجب افزایش در نفوذپذیری خاک می‌شوند. در پژوهش‌هایی که پترو[۲] و رائو[۳] (۱۹۹۷) و چادهری[۴] (۲۰۰۱) انجام داده‌اند با افزایش غلظت سیال منفذی، ضریب نفوذپذیری افزایش یافته است. آن‌ها این تغییر را به کاهش ضخامت لایهٔ دوگانه نسبت داده‌اند. اما چنان‌چه اشاره شد با توجه به درصد کم کانی‌های رسی در خاک بررسی شده، درصد کمی از تغییر در ضریب نفوذپذیری به کاهش ضخامت لایهٔ دوگانه مربوط می‌شود و سهم بیش‌تر آن ممکن است در اثر تشکیل پیوند در بین ذرات و ایجاد ساختار لخته‌ای در خاک ایجاد شده باشد.

در این پژوهش استفاده از آب نیمه‌شور باعث افزایش ضریب نفوذپذیری به‌میزان ۵۳ درصد شده است. با وجود این‌که غلظت آب شور بیش از ۵۰ برابر آب نیمه‌شور است، ضریب

۱. Yong ۲. Petrov ۳. Rowe ۴. Chadhari

Archive of SID
www.SID.ir

نفوذپذیری برای آب شور ۲۰ درصد نسبت به آب نیمه‌شور افزایش یافته است. در بررسی موحمد[۱] (۲۰۰٤) نیز ضریب نفوذپذیری با افزایش غلظت محلول افزایش یافته است اما در غلظت بیش از ۰/۱ مولار تغییرات ناچیز است. از این رو به‌نظر می‌رسد با افزایش در غلظت سیال منفذی ضریب نفوذپذیری افزایش می‌یابد؛ اما وقتی غلظت آب از حدی بیش‌تر شود، تغییر چندانی در ضریب نفوذپذیری ایجاد نمی‌کند. اظهار نظر در مورد غلظتی که فراتر از آن تغییر مشخصی در پارامترهای مهندسی خاک ایجاد نمی‌شود، مستلزم انجام آزمایش‌ها در غلظت‌های متفاوت است.

تأثیر شوری آب بر مقاومت تراکمی تک‌محوره

این آزمون سه بار استفاده از هر نوع آب انجام شد. مقاومت تراکمی با استفاده از آب مقطر و نیمه‌شور ۲۰۹ تا ۲۳۳ کیلوپاسکال و برای آب شور ۲۵۰ تا ۲۷۰ کیلوپاسکال تعیین گردید. در پژوهش‌هایی که منصور (۲۰۰۸) و ماحسنه (۲۰۰٤) انجام دادند نیز آب شور دریای مرده سبب افزایش مقاومت تراکمی خاک شده است. آن‌ها افزایش مقاومت تراکمی را به رسوب نمک در خاک و ایفای نقش آن به‌عنوان سیمان و هم‌چنین اثر روغن‌کاری آب دریای مرده که متراکم شدن خاک را تسهیل کرده است، نسبت داده‌اند. این دلیل در مورد پژوهش حاضر نیز صدق می‌کند. هم‌چنین می‌توان گفت املاح موجود در آب شور سبب برقراری پیوند در بین ذرات خاک شده‌اند که به موجب آن‌ها مقاومت تراکمی خاک افزایش یافته است.

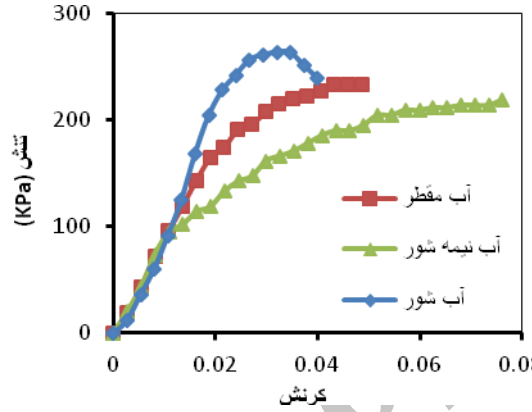
در شکل ۳ نمودار تنش در مقابل کرنش محوری برای یکی از آزمایش‌ها نشان داده شده است. چنان‌چه دیده می‌شود، مقاومت حداکثر برای خاک متراکم شده با آب شور بیش‌تر است و برای خاک متراکم شده با آب مقطر و نیمه‌شور تقریباً یک‌سان است. آب نیمه‌شور در مقایسه با آب مقطر نوعی رفتار خمیری در خاک ایجاد کرده است به‌طوری‌که در هر تنشی میزان کـرنش با آب نیمه‌شور بیش‌تـر است که ممکن است در اثر شکست پیوندهای تشکیل شده در بین ذرات خاک با املاح موجود در آب نیمه‌شور بوده باشد. آب شور سبب تردتر شدن ساختار خاک شده است. به‌عبارت دیگر در صورت استفاده از آب شور، نقطهٔ حداکثر تنش در

۱. Muhammad

Archive of SID

www.SID.ir

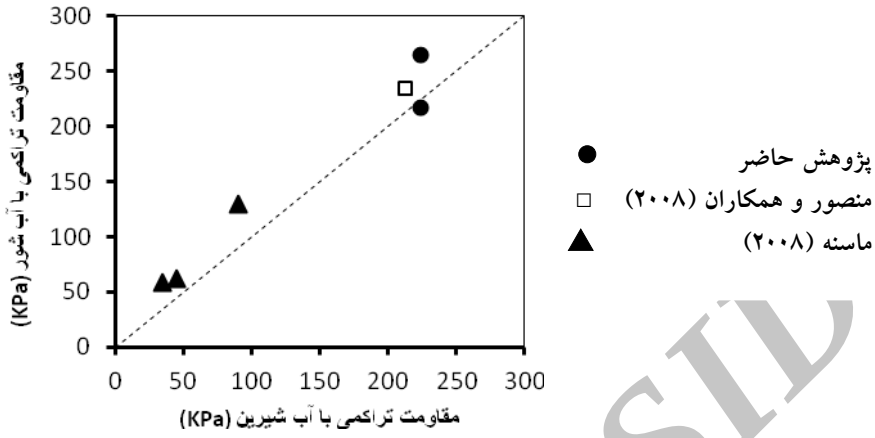
کرنش پایین‌تری اتفاق می‌افتد که از این نظر یک پیامد منفی در رفتار خاک استفاده شده در هستهٔ سد است. به‌عبارت دیگر این شکل نشان می‌دهند آب شور می‌تواند سبب گسیختگی در کرنش‌های کم‌تر گردد.



شکل ۳. منحنی تنش در مقابل کرنش

در شکل ٤ مقاومت تراکمی با آب شور در مقابل مقاومت تراکمی با آب شیرین برای سه بررسی رسم شده است. چنان‌چه دیده می‌شود، اکثر نمونه‌ها نزدیک خط قطری و کمی بالاتر از آن قرار گرفته‌اند که نشان‌دهندهٔ افزایش جزئی در مقاومت تراکمی با استفاده از آب شور است. از بین این سه بررسی بیش‌ترین درصد افزایش مقاومت مربوط به خاک رسی در بررسی ماحسنه (۲۰۰۸) است. در این نمونه استفاده از آب شور دریای مرده سبب افزایش مقاومت خاک به‌میزان ٦۰ درصد و در پژوهش حاضر آب شور سبب افزایش مقاومت به‌میزان ۱۸ درصد شده است. این تفاوت می‌تواند به‌علت بیش‌تر بودن درصد ذرات رس در پژوهش ماحسنه (۳۹ درصد) نسبت به پژوهش حاضر (۲۸ درصد) و بیش‌تر بودن غلظت آب در پژوهش ماحسنه (۳۳۰۰۰۰ پی‌پی‌ام) نسبت به بررسی حاضر (۹۷۰۰۰ پی‌پی‌ام) باشد. از این رو به‌نظر می‌رسد با افزایش کانی‌های رسی در خاک تأثیرپذیری مقاومت تراکمی از آب شور بیش‌تر می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ٤. مقاومت تراکمی با آب شور در مقابل مقاومت تراکمی با آب شیرین

تأثیر شوری آب بر پارامترهای مقاومت برشی

این آزمون دو بار با استفاده از هر نوع آب انجام گردید. میانگین چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک با استفاده از آب مقطر، نیمه‌شور و شور به‌ترتیب ۰/۰۷۸، ۰/۱۰۸ و ۰/۱۰۷ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع و ۱٤/۸، ۱۵/۸ و ۱۵/۲ درجه است. شوری آب تأثیر چشم‌گیری بر پارامترهای مقاومت برشی خاک بررسی شده نداشته است. با این حال افزایش ناچیزی در چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک خاک در تماس با آب شور و نیمه‌شور ایجاد شده است. در پژوهش‌های نائینی[۱] و جهانفر[۲] ۲۰۱۱، سیدی کوا[۳] و همکاران ۲۰۱۱، آینینولا[٤] و همکاران (۲۰۰۹)، تایواری[۵] و همکاران (۲۰۰۵)، دی مایو[٦] و فنلی (۱۹۹٤) و علمدار (۱۳۷۸) نیز افزایش غلظت آب سبب افزایش مقاومت برشی خاک شده است.

تأثیر شوری بر تورم آزاد خاک

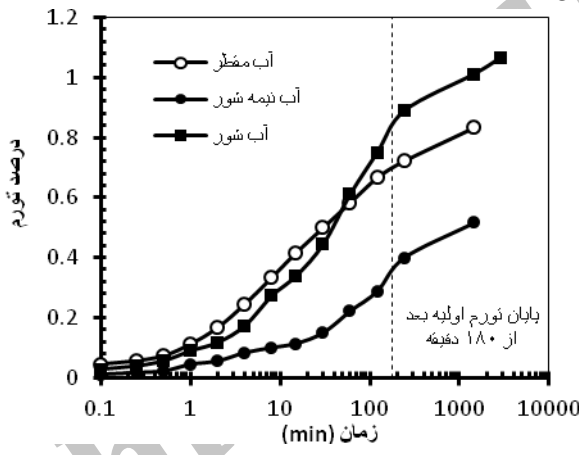
این آزمون دو بار با استفاده از هر نوع آب انجام گرفت. در شکل ۵ منحنی درصد تورم در مقابل زمان برای هر سه نوع آب نشان داده شده است. در این شکل دیده می‌شود که نوع آب اثری بر زمان تورم نداشته است و تورم اولیه نمونه خاک با هر سه نوع آب، بعد از ۱۸۰ دقیقه پایان یافته است. در پـژوهش چائـو[۷] و کینگ[۸] (۲۰۱۰) نیز، محلول‌های $CaCl_2$ با غلظت‌های

۱. Naeini ۲. Jahanfar ۳. Siddiqua ۴. Ayininuola
۵. Tiwari ۶. Di Maio ۷. Fenelli ۸. Qing

Archive of SID

www.SID.ir

مختلف اثری بر زمان تورم خاک بنتونیتی نداشته‌اند و تورم خاک بعد از ۲ ساعت پایان یافته است. مونتاهار[1](۲۰۰۳) نشان داده است، مدت زمان لازم برای پایان تورم اولیه به درصد بنتونیت خاک و درصد کانی‌های غیرانبساطی بستگی دارد. در بررسی وی با اضافه شدن درصد بنتونیت به خاک زمان تورم افزایش یافته است. از این‌رو به‌نظر می‌رسد با توجه به این‌که در هر سه نوع آب، نوع خاک و درصد کانی‌های رسی فعال در آن ثابت بوده است، زمان تورم تغییر نکرده است. البته رسیدن به نتیجهٔ قطعی نیازمند انجام آزمایش تورم بر روی خاکی با درصد کانی‌های رسی بیش‌تر است.



شکل ۵. منحنی درصد تورم در برابر لگاریتم زمان با استفاده از سه نوع آب

فعالیت خاک به‌ترتیب با استفاده از آب مقطر، آب نیمه‌شور و آب شور ۰/۳۵، ۰/۳۱ و ۰/۱۹ است. فعالیت پایین خاک با هر سه نوع آب، نشان از پتانسیل تورم پایین خاک دارد. در آزمون تورم نیز درصد تورم خاک کم است به‌طوری که درصد تورم خاک با هر سه نوع آب بعد از ۲٤ ساعت کم‌تر از ۱ درصد است. اما درصد تورم خاک با استفاده از آب شور ۲۳ درصد افزایش و با استفاده از آب نیمه‌شور ۳۲ درصد کاهش یافته است. تغییرات درصد تورم را می‌توان به‌نوع کاتیون‌های موجود در آب نسبت داد. در آب شور مجموع فراوانی کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم ۱/۳٦٪ است و سدیم ۹۹٪ کاتیون‌ها را تشکیل می‌دهد. با توجه به این‌که کاتیون‌های تک ظرفیتی باعث افزایش ضخامت لایهٔ دوگانه و افزایش تورم خاک می‌شوند

۱. Muntohar

www.SID.ir

درصد زیاد سدیم در آب شور می‌تواند سبب افزایش درصد تورم خاک شده باشد. در آب نیمه‌شور، مجموع فراوانی کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم ۷/۱۲ درصد و درصد سدیم ۹۲ درصد است. بنا بر این بیش‌تر بودن درصد کاتیون‌های دو ظرفیتی در آب نیمه شور، ممکن است از تأثیر کامل سدیم جلوگیری کرده و تاحدی سبب کاهش ضخامت لایهٔ دوگانه شده باشند. در پژوهش انجام شده به‌وسیلهٔ موحمد (۲۰۰٤) نیز میزان تورم بنتونیت در محلول ۰/۰۱ مولار NaCL در مقایسه با آب مقطر افزایش و در محلول‌های حاوی کاتیون‌های دو ظرفیتی کاهش یافته است. او معتقد است در محلول ۰/۰۱ مولار NaCL به‌مقدار کافی یون سدیم برای تجمع در سطح ذرات رسی و افزایش ضخامت لایه آب اطراف آن‌ها فراهم بوده است. میشرا[1] (۲۰۰۵) نقش کاتیون‌های دوظرفیتی را در تغییر خصوصیاتی مانند نفوذپذیری و تراکم‌پذیری مخلوط خاک و بنتونیت مؤثرتر از کاتیون‌های تک ظرفیتی دانسته است.

دلیل دیگری که می‌توان برای توجیه نتایج به‌دست آمده ارائه داد، بر اساس مدل پیشنهادی مونتاهار (۲۰۰۳) برای تورم خاک است. وی معتقد است در مراحل اولیه تورم خاک، کانی‌های رسی منبسط شونده آب جذب کرده و به داخل فضاهای خالی خاک وارد می‌شوند. بعد از پرشدن کامل این منافذ، سرعت تورم افزایش می‌یابد. این موضوع در شکل ٦ نشان داده شده است. با توجه به این‌که غلظت آب شور بسیار زیاد و درصد رس خاک کم است، احتمال آن وجود دارد که املاح موجود در آب قبل از این‌که جذب کانی‌های رسی موجود در خاک شوند، در منافذ خاک رسوب کرده باشند. از این رو کانی‌های رسی خاک که اکنون آب جذب کرده‌اند، با توجه به کمبود فضای خالی سبب افزایش تورم در مقایسه با آب مقطر شده‌اند.

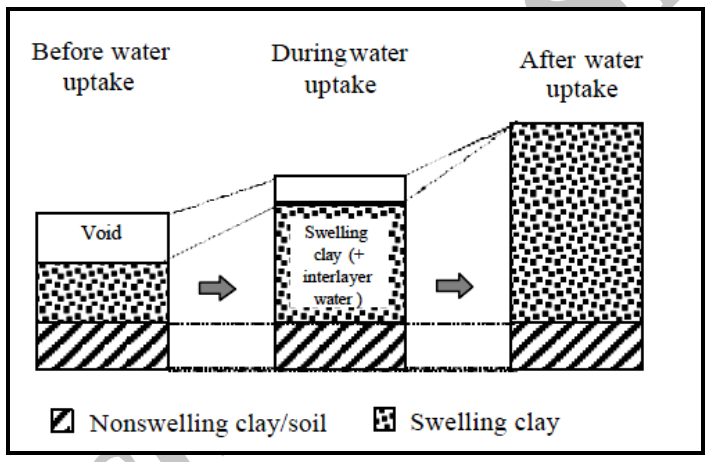
در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ نمودار لگاریتم فشار در مقابل نسبت پوکی با استفاده از سه نوع آب نشان داده شده است. در این شکل‌ها افزایش نسبت پوکی بر اثر جذب آب و فشار تورم (که در این فشار، خاک به نسبت پوکی اولیه برمی‌گردد) مشخص شده است. میانگین فشار تورم در دوبار انجام آزمون تورم برای آب مقطر، نیمه‌شور و شور به‌ترتیب ۰/٤۳، ۰/۱۲ و ۰/۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع است. به‌همین سبب استفاده از آب‌های شور باعث کاهش فشار

۱. Mishra

Archive of SID

www.SID.ir

تورم شده است. کاهش بیش‌تر فشار تورم با استفاده از آب نیمه‌شور ممکن است نتیجه بیش‌تر بودن درصد کاتیون‌های دوظرفیتی کلسیم و منیزیم در آن باشد. در بررسی الاواجی[۱] (۱۹۹۹) نیز استفاده از محلول‌های $NaNo_3$ و $Ca(NO_3)_2$ باعث کاهش فشار تورم شده است؛ اما میزان کاهش برای محلول کلسیم‌دار بیش‌تر است. در پژوهش‌هایی که چائو و کینگ (۲۰۱۰) و فینی کومار[۲] و شانکار[۳](۲۰۱۱) انجام دادند، نیز استفاده از محلول $CaCL_2$ سبب کاهش فشار تورم بتونیت شده است. فینی کومار و شانکار ایجاد ساختار لخته‌ای در خاک و افزایش اندازهٔ ذرات را علت کاهش تورم خاک در تماس با محلول $CaCL_2$ بیان کرده‌اند.



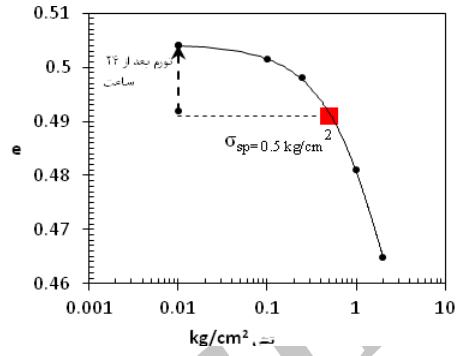
شکل ٦. مدلی برای تورم خاک انبساطی متراکم شده [۱۲]

تأثیر شوری آب بر پتانسیل واگرایی خاک

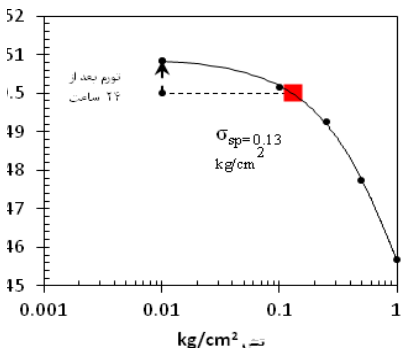
روش کرامب: این آزمون سه بار با استفاده از سه نوع آب انجام شد. شکل ۱۰ نمایی از واکنش خاک بعد از ٦ ساعت تماس خاک با آب را نشان می‌دهد. از آن‌جاکه در هیچ یک از حالات‌هاله واکنشی در اطراف خاک مشاهده نگردید و تغییری در رنگ آب ایجاد نشد، آزمون کرامب بر غیرواگرا بودن خاک در تماس با هر سه نوع آب اشاره دارد.

۱. Alawaji ۲. Phinikumar ۳. Shankar

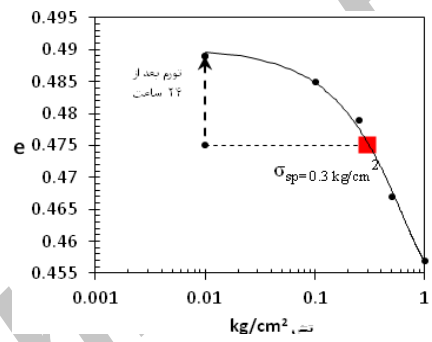
www.SID.ir



شکل ۷. نمودار نسبت پوکی- لگاریتم فشار مربوط به آب مقطر



شکل ۸. نمودار نسبت پوکی- لگاریتم فشار مربوط به آب نیمه‌شور



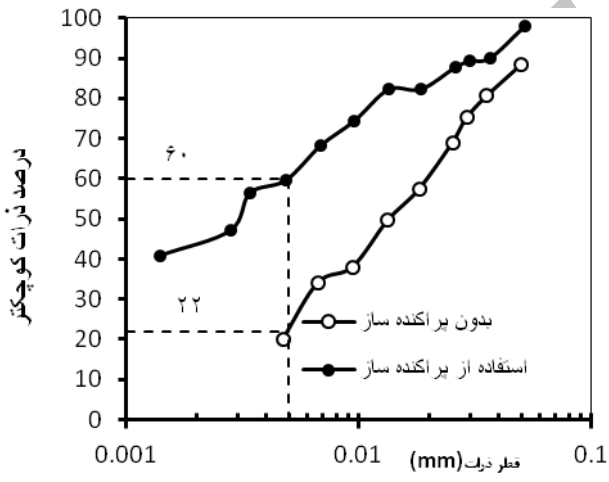
شکل ۹. نمودار نسبت پوکی- لگاریتم فشار مربوط به آب شور

آب مقطر　　آب نیمه‌شور　　آب شور

شکل ۱۰. نمایی از واکنش خاک در آزمون کرامب بعد از ٦ ساعت

www.SID.ir

روش هیدرومتری دوگانه: امکان انجام آزمون هیدرومتری دوگانه با آب شور به‌علت عدم غوطه‌وری هیدرومتر در آن میسر نشد. این آزمون با استفاده از آب‌های مقطر و نیمه‌شور سه مرتبه بر روی مصالح عبوری از الک ۲۰۰ انجام گرفت. منحنی دانه‌بندی یکی از آزمایش‌های انجام شده با استفاده از آب مقطر در شکل ۱۱ نشان داده شده است. چنان‌چه ملاحظه می‌شود نسبت واگرایی ۳۷ درصد است که بر واگرایی متوسط خاک با استفاده از آب مقطر اشاره دارد.

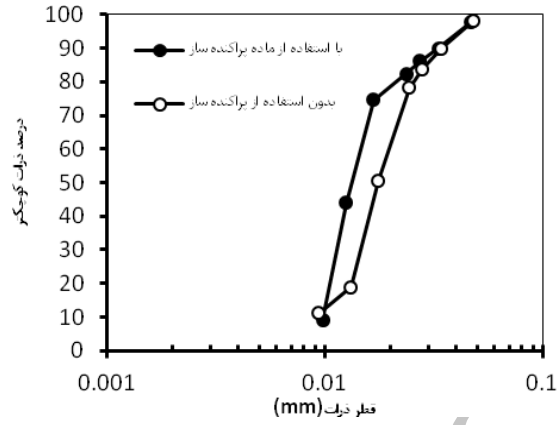


درصد واگرایی = ۲۲/ ۶۰ × ۱۰۰ = ۳۷

شکل ۱۱. منحنی دانه‌بندی با آب مقطر

منحنی دانه‌بندی خاک با آب نیمه‌شور در شکل ۱۲ نشان داده شده است. چنان‌چه دیده می‌شود درصد ذرات کوچک‌تر از ۵ میکرون در هر دو حالت اضافه شدن یا نشدن پراکنده‌ساز صفر است. این امر بر غیرواگرا بودن خاک با استفاده از آب نیمه‌شور دلالت دارد. سیلندر محتوی نمونه خاک و آب نیمه‌شور نیز بعد از گذشت ۳۰ دقیقه از شروع آزمایش شفاف گردید. این امر ممکن است در اثر افزایش نیروی جاذبه در بین ذرات و در نتیجهٔ کلوخه شدن آن‌ها باشد.

Archive of SID
www.SID.ir



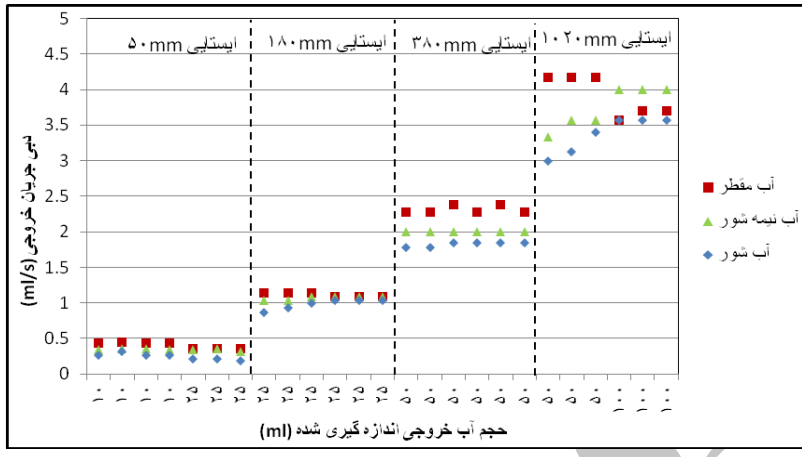
شکل ۱۲. منحنی دانه‌بندی با آب نیمه‌شور

روش پین هول: این آزمون سه بار با استفاده از هر نوع آب انجام گردید که نتیجه یکی از آزمایش‌ها در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در این شکل میزان جریان خروجی از نمونه در مقابل حجم آب اندازه‌گیری شده برای هر سه نوع آب ترسیم شده است. با توجه به این‌که دبی خروجی برای هر سه نوع آب در پایان هد ۱۰۲۰ mm بیش‌تر از ۳ میلی‌لیتر بر ثانیه، رنگ سیال خروجی شفاف و اندازه سوراخ ۱/۵ تا ۲ میلی‌متر بود، ردهٔ واگرایی خاک ND2 نامیده شد. بنا بر این خاک با آب شیرین غیرواگرا است و آب‌های شور با وجود درصد زیاد سدیم سبب واگرایی خاک نشده‌اند.

در کل نتایج آزمون‌های کرامب، هیدرومتری دوگانه و پین هول مطابقت خوبی در مورد استعداد واگرایی خاک با یک‌دیگر داشته‌اند. به جز در یک مورد در آزمون هیدرومتری دوگانه که نشان از واگرایی نسبی خاک با آب مقطر داشته، در دیگر آزمون‌ها، خاک در تماس با هر سه نوع آب غیرواگرا تشخیص داده شده است. از آن‌جا که در آزمون هیدرومتری سرعت ته نشست ذرات در تماس با آب نیمه‌شور افزایش یافت و در آزمون پین هول میزان جریان خروجی با استفاده از آب شور و نیمه‌شور کم‌تر از آب مقطر است، تصور می‌شود آب‌های شور و نیمه‌شور با ایجاد پیوند بین ذرات خاک و افزایش نیروی جاذبه در بین آن‌ها از واگرایی خاک و شسته شدن آن با آب جلوگیری کرده‌اند. به‌عبارت دیگر شوری آب باعث کنترل و کاهش پتانسیل واگرایی شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۳. دبی جریان خروجی در مقابل حجم آب خروجی در آزمون پین هول

عدم واگرایی خاک در مجاورت محلول‌های شور در پژوهش‌هایی که علمدار (۱۳۷۸)، خامه‌چیان و همکاران (۱۳۸٤)، آینو–پراه (۲۰۰٤)، اوحدی[۱] و گودرزی[۲] (۲۰۰٦) و عباسی و همکاران (۱۳۸۹) انجام داده‌اند نیز مشاهده شده است. خامه‌چیان و همکاران (۱۳۸٤) معتقدند از آن‌جاکه در خاک بررسی شده آن‌ها درصد کانی‌های کلریت و ایلیت که از کانی‌هایی با فعالیت کم هستند زیاد است، میزان گسترش لایهٔ دوگانه در حدی نبوده است که سبب از بین رفتن نیروی جاذبه در بین ذرات رس و واگرایی آن‌ها در آزمون پین هول شود. آینو–پراه (۲۰۰٤) بیان کرده است آب‌های با SAR[۱] بالا، اثری بر واگرایی خاک چسبنده متراکم شده غیر اشباع ندارد. اوحدی و گودرزی (۲۰۰٦) با استفاده از مخلوط خاک بنتونیت و نمک‌های سدیم با منشأ آنیونی متفاوت مجموعه‌ای از نمونه‌های مصنوعی خاک–الکترولیت تهیه و سپس تغییر رفتار خاک را بررسی کردند و دریافتند که وجود کاتیون سدیم در غلظت‌های کم باعث ایجاد ساختمان پراکنده و در غلظت زیاد موجب ایجاد ساختمان فولوکوله می‌شود. به اعتقاد عباسی و همکاران (۱۳۸۹) علت واگرا نشدن خاک در تماس با محلول کلرید سدیم آن است که آنیون کلر بر خلاف کاتیون سدیم به‌عنوان عاملی در جهت غیرواگرا کردن خاک عمل می‌کند. به‌عبارت دیگر بخشی از سدیم با کلر موجود به‌صورت نمک کلرید سدیم رسوب و مازاد به‌عنوان عامل پراکنده‌ساز عمل می‌کند.

۱. Ouhadi ۲. Goodarzi

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر آب شور سرشاخه کرچای و آب نیمه‌شور رودخانه آجی چای بر خصوصیات مهندسی خاک ریزدانه استفاده شده در هسته سد کرچای بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد، با افزایش شوری آب حدود آتربرگ کاهش می‌یابد. باتوجه به درصد کم کانی رسی در خاک به‌نظر می‌رسد قسمت اعظم تغییرات حدود آتربرگ ظاهری و ناشی از ته نشست نمک در خاک است و درصد کمی از تغییرات به کاهش ضخامت لایه دوگانه با افزایش شوری آب نسبت داده شد.

ضریب نفوذپذیری، مقاومت تراکمی تک‌محوره و پارامترهای مقاومت برشی خاک با افزایش شوری آب افزایش یافتند. این تغییرات عمدتاً به افزایش نیروی جاذبه در بین ذرات خاک و تشکیل پیوند در بین آن‌ها با املاح موجود در آب و تشکیل بلورهای نمک در منافذ خاک و ایفای نقش به‌عنوان سیمان نسبت داده شده است و با توجه به کم بودن درصد رس در خاک، سهم کم‌تری از تغییرات مربوط به کاهش ضخامت لایهٔ دوگانه با افزایش شوری آب است.

شوری آب تأثیری بر مدت زمان تورم اولیه نداشته و تورم اولیهٔ نمونه خاک در تماس با هر سه نوع آب بعد از گذشت ۱۸۰ دقیقه پایان یافت. با توجه به درصد اندک کانی‌های رسی در خاک، درصد تورم خاک با هر سه نوع آب کم‌تر از ۱ درصد است. اما درصد تورم با استفاده از آب نیمه‌شور ۳۲ درصد کاهش و با استفاده از آب شور ۲۳ درصد افزایش یافت. دو دلیل احتمالی برای این نتیجه می‌توان پیشنهاد کرد: ۱. بیش‌تر بودن درصد کاتیون‌های دو ظرفیتی در آب نیمه‌شور سبب کاهش بیش‌تر در ضخامت لایهٔ دوگانه شده است ۲. غلظت بیش از حد آب شور سبب رسوب نمک در منافذ خاک و کاهش فضا برای کانی‌های رسی منبسط شده گردیده است. فشار تورم با استفاده از آب مقطر، آب نیمه‌شور و آب شور به‌ترتیب ۰/۴۳، ۰/۱۲ و ۰/۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع است. به همین سبب، آب‌های شور و نیمه‌شور سبب کاهش فشار تورم خاک شده‌اند اما میزان کاهش فشار تورم با استفاده از آب نیمه‌شور بیش‌تـر از آب شور است که ایـن نتیجه ممکن است در اثر بیش‌تر بودن درصد کاتیون‌های دو

۱. Sodium Adsorption Ratio

Archive of SID

www.SID.ir

ظرفیتی در آب نیمه‌شور در مقایسه با آب شور باشد.

علیرغم درصد زیاد سدیم در آب‌های شور و نیمه شور، آزمون‌های کرامب، هیدرومتری دوگانه و پین هول بر عدم واگرایی خاک دلالت دارند. می‌توان گفت با توجه به درصد اندک کانی‌های رسی در خاک، سدیم زیاد موجود در آب‌های شور و نیمه‌شور نتوانسته است سبب افزایش نیروی دافعه و درنتیجه واگرایی خاک گردد. به‌جز نفوذپذیری که با افزایش شوری آب افزایش اندکی نشان داده است و آزمون تک‌محوره که نشان داد آب شور می‌تواند سبب گسیختگی در کرنش‌های کم‌تر گردد، تغییرات در دیگر پارامترهای مهندسی خاک در جهت منفی برای استفاده در هسته سد نیست.

بنا بر این با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق و هم‌چنین با توجه به خاک و آب بررسی شده، استفاده از آب شور برای عمل‌آوری هسته سد کرچای بلامانع است و تأثیرات منفی چشم‌گیری بر رفتار این مصالح نداشته است. در کل عوامل تأثیرگذار بر رفتار خاک به دو دستهٔ درونی و بیرونی تقسیم می‌شوند. عوامل درونی شامل درصد ریزدانه، درصد رس و نوع کانی رسی و عوامل بیرونی شامل غلظت آب و نوع کاتیون هستند. هرچه درصد رس خاک بیش‌تر و کانی رسی از نوع فعال‌تر باشد، تأثیر عوامل بیرونی بر خصوصیات مهندسی خاک بیش‌تر می‌گردد.

منابع

۱. علمدار سعید، *تأثیر دراز مدت آب شور بر خاک‌های ریزدانه*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۷۸).

۲. خامه‌چیان ماشاالله، رحیمی ابراهیم، لشکری‌پور، غلامرضا، سلوکی حمیدرضا، *بررسی علل فرسایش دشت سیستان از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی با نگرشی خاص به پدیده واگرائی*، مجلهٔ علوم دانشگاه تهران، ۳۱ (۱۳۸٤) ۲۵۳– ۲٦۸.

۳. عباسی نادر، نظیفی محمدحسین، موحدان محمد، *بررسی تأثیر میزان و نوع املاح آب منفذی در واگرایی خاک‌های رسی*، چهارمین همایش بین‌المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران (۱۳۸۹).

Archive of SID

www.SID.ir

4. Alainachi I. H., Alobaidy G. A., "The Effects of Basra Gulf Salt Water on The Proctor Compaction and CBR Test Results of Soil Samples at Baniyas City, Abu Dhabi, UAE", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 15 (2010).
5. Ayininuola G. M., Agbede O. A., Franklin, S. O., "Influence of Calcium Sulphate on Subsoil Cohesion and Angle of Friction", Journal of Applied Sciences Research, Vol. 5, (2009) 297-304.
6. Chao, J. J., Qing, Y., "Influence of Pore Water Chemistry on the Swelling Pressure of Compacted Bentonite-Clays", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol.15 (2010) 321-326.
7. Chaudhari, S., "Saturated Hydraulic Conductivity, Dispersion, Swelling, and Exchangeable Sodium Percentage of Different Textured Soils as Influenced by Water Quality", Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol.32 (2001) 2439-2455.
8. Di Maio, C., Fenelli, G. b., "Residual Strenght of Kaolin and Bentonite: The Influence of Their Constituent Pore Fluid", Geotecnique, Vol.44 (1994) 217-226.
9. Emami Azadi, M. R., "The Effects of Urmieh Lake Salt Water on the Proctor Compaction and CBR Test Results of Well Graded Gravel-Sand Mixed With Clay (GSCW) Soil Samples", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol.13 (2008).
10. Mahasneh, B. Z., "Dead Sea Water as a Soil Improvement Agent", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol.9 (2004).

Archive of SID

www.SID.ir

11. Mansour, Z. M., Taha, M. R., and Chik, Z., "Fresh– Brine Water Effect on the Basic Engineering Properties of Lisan Marl-Dead Sea- Jordan", Journal of Applied Sciences, Vol. 8 (2008) 3603-3611.
12. Mishra, A. K., Ohtsub, M., Li, L., and Higashi, T., "Effect of Salt Concentrations on the Permeability and Compressibility of Soil-Bentonite Mixtures", J. Fac. Agr. Kyushu Uni, Vol. 50 (2005) 837-849.
13. Muhammad, N., "Hydraulic, Diffusion, and Retention Characteristics of Inorganic Chemicals in Bentonite", Ph.D. thesis, University of South Florida, (2004) 232.
14. Muntohar, A. S., "Swelling and Compressibility Characteristics of Soil - Bentonite Mixtures", Dimensi Teknik Sipil, Vol. 5 (2003) 93-98.
15. Naeini, S. A., Jahanfar, M. A., "Effect of Salt Solution and Plasticity Index on Undrain Shear Strength of Clays", World Academy of Science Engineering and Technology, Vol.73 (2011).
16. Ouhadi, V. R., Goodarzi, A. R., "Assement of the stability of a dispersive soil treated by Alum", Engineering Geology, Vol. 85 (2006) 91-101.
17. Phanikumar, B. R., Shankar, M. U., "Corelation Studies on Liquid Limit and Free Swell Index of Fly Ash Stbilised Expansive Clay Liners", Proceeding of Indian Geotechnical Conference, (2011).
18. Petrov, R. J., Rowe, R. K., "Geosynthetic clay liner (GCL)-Chemical Compatibility by Hydraulic Conductivity Testing and Factors Impacting its Performance", Canadian Geotechnical Journal, Vol.34 (1997) 863-885.

Archive of SID

www.SID.ir

19. Schmitz, R. M., "Can the Diffuse Double Layer Theory Describe Changes in Hydraulic Conductivity of Compacted Clays?", Geotechnical and Geological Engineering, Vol.24 (2006) 1835-1844.
20. Shariatmadari, N., Salami, M., Karimpour Fard, M., "Effect of Inorganic Salt Solutions on Some Geotechnical Properties of Soil-Bentonite Mixtures as Barriers", International Journal of Civil Engineering, Vol.9 (2011).
21. Siddiqua, S., Blatz, J. A., Greg, S., "Investigation of the Mechanical Behaviour of Light and Dense Backfill Material Subjected to Various Pore Fluid Conditions", Geotechnical Conference, (2011).
22. Tiwari, B. G., Tuladhar, R., Marui, H., "Variation in Residual Shear Strength of the Soil with the Salinity of Pore Fluid", Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol.131 (2005).
23. Yong, R. N., Mohamed, A. M. O., Warkentin, B. P., "Principles of Contaminant Transport in soils, Developments in Geotechnical Engineering", Elsevier Sience Publishers, Amsterdam, Vol.73 (1992).
24. Yukselen-Aksoy, Y., Kaya, A., Ören, A. H., "Seawater Effect on Consistency Limits and Compressibility Characteristics of Clays", Engineer-ing Geology, Vol.102 (2008) 54-61.

Archive of SID

www.SID.ir