

تأثیر دراز مدت آب شور بر خاکهای ریزدانه

علی کمک پناه

دانشیار

دانشکده فنی و مهندسی، بخش عمران، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

با توجه به اهمیت ذخیره آبهای شور در پروژه‌های جداسازی آبهای شور و شیرین در پشت سدهای خاکی، ضرورت اثر دراز مدت آبهای شور بر خاکهای ریزدانه نمایان می‌گردد. با توجه به این موضوع در تحقیق حاضر دستگاه آزمایشی که بتواند فشار هیدرواستاتیک معادل طرح را بر خاکهای مورد آزمایش ایجاد نماید ساخته شد. نمونه‌های خاک ریزدانه مورد مصرف در سدهای ذخیره‌ای آب شور طرح آجی چای، تحت آبگذری دو نوع آب شور و نیمه شور قرار گرفت. سپس پارامترهای اصلی مورد استفاده در طراحی سدهای خاکی از طریق انجام آزمایش بر روی نمونه‌های تحت تأثیر دراز مدت آب شور و نیمه شور بدست آمده و با پارامترهای خاک در قبل از آزمایش مورد مقایسه قرار گرفته است. بطور واضح می‌توان بیان داشت که حداقل برای این نوع خاک و خاکهای مشابه جریان آب شور نه تنها تأثیر منفی نداشته بلکه بعضی از پارامترهای مهم خاک همانند پتانسیل واگرایی را به نفع طرح تغییر می‌دهد.

کلمات کلیدی

خاک ریزدانه - رفتار دراز مدت - آب شور - سد

Long Term Effect of Saline Water on Fine Grained Soils

A. Komak Panah

Associate Professor

Department of Civil Engineering,

Faculty of Engineering, Tarbiat Modarres University

Abstract

In water resource development projects, where separation of saline and nonsaline water resources is an important subject, saline water storages behind the earth dams may be an economical solution. In such cases, the long term effect of saline water on the soil parameters is a controlling factor. In this research, an apparatus which is able to apply higher hydro-static pressures was prepared. Soil samples were selected from fine grained soil resources of Aji Chai project and both saline and semi-saline waters were flowed through the samples. Essential soil parameters were measured after a long term flow in soil mechanics laboratory and were compared with original soil parameters. At least for selected soil samples small improvement in engineering parameters of soil can be concluded.

Keywords

Fine grained soils-Long term behavior-Saline water-Dam

بیش از ۱۰ درصد کل سطح خاکهای جهان، توسط خاکهای با درجات مختلف شوری پوشیده شده است. کشور ما ایران نیز بدلیل قرار داشتن در منطقه خشک و نیمه خشک، با مشکلات شوری و قلیائیت روبروست، بطوریکه ۱۵ درصد سطح کل کشور یعنی حدود ۲۵ میلیون هکتار را خاکهای شور فرا گرفته است. همچنین حدود ۱۰ درصد آبهای کشور، شور می باشد. اختلاط آبهای شور با آبهای شیرین در مسیر جریان خود، کیفیت آبهای مناسب را نیز تقلیل می دهد. از این رو کنترل این آبها در پشت سدهای خاکی و ممانعت از اختلاط آنها با آبهای شیرین، هدف مهمی است که باید در آینده کشور به مورد اجرا گذاشته شود. در این راستا یکی از پروژه های بزرگ و مهمی که در دست اجرا می باشد سد مخزنی و نیار در ۴ کیلومتری شمال شرق شهر تبریز است. این سد با مخزنی بیش از ۰/۵ میلیارد مترمکعب برای ذخیره آبهای شیرین ساخته می شود. سد مخزنی و نیار بر روی رودخانه آجی جای ساخته می شود. در حوزه این رودخانه ده ها شاخه آب شور وجود دارد که ریزش آنها در رودخانه موجب کاهش شدید کیفیت آب رودخانه می شود. در طرح سد و نیار آبهای شور بوسیله کلکتورهایی جمع آوری شده و در مخازن سدهای خاکی ذخیره گردیده و در فصول غیرآبیاری به پایین دست منتقل خواهد شد. هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر دراز مدت آبهای با شوری زیاد مورد ذخیره تحت فشار هیدرواستاتیک معادل آب مخزن بر روی خاک ریزدانه هسته این نوع سدها می باشد [۲].

مصالح مورد آزمایش

براساس مطالعات انجام شده در منطقه طرح آجی جای، مصالح واریزه ای موجود در منطقه که شامل رس، سیلت، ماسه و قطعه سنگهای حاصل از هوازدگی سنگهای رسوبی منطقه است بعنوان مصالح مناسب برای استفاده در هسته سدهای این طرح بزرگ شناسایی شده است. منشأ اصلی این مصالح واریزه ای رس سنگ، لای سنگ و ماسه سنگهای تشکیلات رسوبی میوسن - پلیوسن می باشد که بدلیل هوازدگی آنها بمرور زمان انباشته شده است. پیش بینی شده است که در اجرای پروژه ها دانه های بزرگتر از اندازه ۱/۵ اینچ از طریق سرندها جدا شده و مصالح ریزدانه در هسته سدها مورد مصرف قرار گیرد. برای انجام آزمایشهای تحقیق حاضر، با توجه به کوچک بودن قالبهای دستگاه آزمایش، از دو نوع مصالح عبوری از الک ۳/۸ اینچ و الک شماره ۸ استفاده شده است. شکل ۱ منحنی های دانه بندی مصالح ساختمانی و مصالح مورد استفاده در تحقیق حاضر را نشان می دهد. آزمایشهای متعدد هویتی و مکانیکی بر روی مصالح انجام شده است. خلاصه نتایج این آزمایشها بشرح زیر است:

- متوسط دانسیته خشک براساس آزمایش پروکتور استاندارد ۲/۱۰ گرم بر سانتیمتر مکعب

- متوسط رطوبت اپتیمم براساس آزمایش پروکتور استاندارد ۱۰/۵ درصد

- نفوذپذیری مصالح بطور متوسط 1×10^{-6} سانتیمتر بر ثانیه

- حد روانی مصالح ۲۴ درصد و شاخص خمیری ۷/۵ درصد

- براساس آزمایشهای سه محوری $Cu = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ ، $\phi_{cu} = 0$ ، $C' = 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ و $\phi' = 30^\circ$ و $\phi_{cu} = 18^\circ$

- براساس آزمایشهای تحکیم پارامترCc (نشانه فشردگی) برابر ۰/۰۶ و پارامتر Cs (ضریب تورم) برابر ۰/۱۲

- براساس آزمایش کرامب مصالح غیرواگرای نسبی تا متوسط واگرا، براساس آزمایش هیدرومتری دوگانه غیرواگرا تا متوسط واگرا و براساس آزمایش پین هول کم واگرا ارزیابی شده است [۳ و ۶].

با توجه به اهمیت واگرایی در خاکهای ریزدانه در هسته سدهای خاکی، آزمایش کرامب و پین هول با استفاده از آب شور انجام پذیرفت. براساس این آزمایش ملاحظه گردید که پتانسیل واگرایی خاک کاهش می یابد. براساس آزمایش کرامب مصالح غیرواگرای نسبی و براساس آزمایش پین هول مصالح غیرواگرا ارزیابی شد.

دستگاه و نحوه انجام آزمایش

به منظور ارزیابی تأثیر دراز مدت آبهای شور و شیرین با فشار هیدرواستاتیک بالا بر مصالح منتخب، دستگاه آزمایش طراحی و ساخته شد. دستگاه بطور کلی شامل مخازن ذخیره آب، قالبهای نمونه، فشارشکن (رگلاتور)، فشارسنج، اتصالات، شیرآلات و شیلنگهای فشار قوی می باشد. در انتخاب مواد و لوازم مصرفی در ساختن دستگاه و همچنین شرایط استفاده از دستگاه، عوامل اصلی مقاومت در برابر خوردگی و تحمل فشارهای بالا و آبنندی بخش های مختلف دستگاه مورد توجه قرار گرفت. شکل ۲ تصویر

شمتایک دستگاه آزمایش را نشان می‌دهد. قطر داخلی قالب نمونه‌های مورد آزمایش ۹/۸ سانتیمتر و ارتفاع آنها ۱۲/۷ سانتیمتر و مشابه با قالبهای خاک در دستگاه آزمایش نفوذپذیری استاندارد انتخاب شده‌اند [۱].
روند کلی انجام آزمایشها را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:

فشار هیدرواستاتیک مورد نیاز بوسیله کمپرسور موجود در آزمایشگاه ایجاد شده و از طریق رگلاتور بر روی مخازن اعمال می‌گردد. مقدار فشار مورد نیاز بوسیله یک عدد رگلاتور تنظیم می‌شود. یک عدد فشارسنج با ظرفیت حداکثر ۱۰ اتمسفر مقدار فشار هوای اعمال شده را نشان می‌دهد. فشار ورودی از طریق اتصالات واقع در بالای مخازن و از طریق بوشن روی قاعده بالایی مخزن بر سطح مایع (آب‌شور) درون مخزن و متعاقباً از طریق اتصالات و شیلنگهای پایین مخزن بر سطح نمونه خاک اعمال می‌شود. آب خروجی از نمونه‌های خاک، جمع‌آوری شده و در طول مدت آزمایش آنگذری مورد آزمایش شیمیایی قرار می‌گیرد. پس از گذشت مدت زمان مورد مطالعه، نمونه‌های خاک درون قالبها نیز در انتهای آزمایش بیرون آورده شده و تحت آزمایشات مکانیک خاک و آزمایشات شیمیایی قرار می‌گیرند. با مطالعه روند تغییرات در آب خروجی و رفتار خاک پس از آزمایش، می‌توان بر اثر دراز مدت آب شور بر مصالح پی برد.

شرایط آزمایشها

در تحقیق حاضر از دو نوع آب شور برای انجام آزمایشها استفاده شده است. هر دو نوع نمونه آب، از آبهای طبیعی موجود در سرشاخه‌های رودخانه آجی‌چای اخذ شده است. سرشاخه‌های مورد نظر طوری انتخاب شده‌اند که یکی از آنها شورترین آب و دیگری کم شورترین آب را دارا باشند. بر این اساس آب سرشاخه پاژچای با TDS برابر ۵۰۰۰۰ ppm و آب سرشاخه سوچا با TDS برابر با ۲۷۰۰۰۰ ppm پس از انجام آزمایشهای شیمیایی برای انجام آزمایش آنگذری به آزمایشگاه منتقل گردیدند. نمک اصلی هر دو آب را نمک طعام (NaCl) تشکیل می‌دهد که ناشی از گنبد‌های نمکی موجود در حوضه آبریز رودخانه آجی‌چای است [۱].

با توجه به محدودیت‌های ابعاد قالبهای دستگاه آزمایش، خاک عبوری از الک ۳/۸ اینچ با توجه به منحنی دانه‌بندی با استفاده از روش مقیاس موازی (منحنی دانه‌بندی مصالح واقعی با یک شیفت ثابت به سمت چپ انتقال می‌یابد) برای دو عدد از قالبهای دستگاه، یکی تحت اثر آب شور (TDS=۲۷۰۰۰۰ ppm) دیگری تحت اثر آب نیمه شور (TDS=۵۰۰۰۰ ppm) مورد استفاده قرار گرفت. همچنین به منظور امکان انجام آزمایشات تحکیم و برش مستقیم بر روی نمونه‌های دست نخورده حاصل از تماس دراز مدت آبهای فوق، با توجه به محدودیت‌های دستگاههای آزمایش قابل دسترس از نظر اندازه درشت‌ترین ذره خاک، دو قالب دیگر دستگاه نیز برای خاک عبوری از الک نمره ۸ (۲/۳۶ mm) به همان روش مورد استفاده واقع شد. شکل شماره ۱ منحنی‌های دانه‌بندی مصالح مورد استفاده در آزمایشها را نشان می‌دهد. خاکهای فوق در درصد رطوبت بهینه با توجه به شرایط واقعی ساختگاه جهت حصول به وزن مخصوص مورد نظر، درون قالب دستگاه تحت تراکم قرار گرفتند. برای نمونه‌های ۳/۸ اینچ، وزن مخصوص خشک ۱/۹ گرم بر سانتیمتر مکعب، رطوبت اپتیمم ۱۱/۵ درصد و برای نمونه‌های عبوری از الک نمره ۸، وزن مخصوص خشک ۱/۷۸ گرم بر سانتیمتر مکعب و رطوبت اپتیمم ۱۳/۵ درصد انتخاب شده‌اند (کاهش دانسیته از مقدار نمونه‌های واقعی مورد مصرف در خاک بدلیل تقلیل دانه‌های درشت حاصل شده است).

مشابه آزمایش نفوذپذیری، نمونه‌ها ابتدا با استفاده از آب مخازن اشباع شدند و سپس بوسیله فشار هوای تحت فشار ۳ اتمسفر (معادل فشار هیدرواستاتیک حداکثر در طراحی سدهای مخازن آب شور) تحت آزمایش قرار گرفتند. آب خروجی از قالبهای خاک، بدرون ظرفی درپوش‌دار منتقل شده و در طول آزمایش، مورد آزمایش شیمیایی قرار گرفت.
در طول مدت زمان آزمایش، با اندازه‌گیری حجم آب جمع‌آوری شده درون ظرفها، میزان تغییرات نفوذپذیری باگذشت زمان محاسبه شد.

نمونه‌های خاک متراکم یافته زیر الک ۳/۸ اینچ به مدت ۳ ماه و نمونه‌های زیر الک نمره ۸ به مدت ۱/۵ ماه در دستگاه تحت آزمایش قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها از زیر دستگاه بیرون آورده شده و تحت آزمایشات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی قرار گرفتند.

نتایج آزمایشها

الف - آزمایشهای شیمیایی

همانطور که اشاره گردید در طول مدت زمان انجام آزمایشها، آب عبور کرده از نمونهها مرتباً تحت آزمایش شیمیایی قرار گرفت. همچنین خاک مورد آزمایش نیز قبل از آزمایش آبگذری و پس از آن تحت آزمایش شیمیایی از طریق عصاره‌گیری قرار گرفتند. جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی دو نوع آب شور در مدت زمان ۳ ماه عبور از خاک را نشان می‌دهد. اگر خطاهای آزمایشها را در نظر بگیریم مهمترین یونها یعنی Na^+ و Cl^- در طول آزمایشها تغییر چشمگیری را چه برای آب شور و چه برای آب نیمه شور نشان نمی‌دهند. جدول ۲ نتایج تجزیه شیمیایی خاکها را قبل و پس از آزمایش نشان می‌دهد. همچنان که ملاحظه می‌گردد نمکهای غالب موجود در خاک یعنی $CaSO_4$ و Na_2SO_4 و $NaCl$ به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته‌اند. نمکهای فوق در خاکی که آب نیمه شور از آن عبور کرده به ده برابر و در خاکی که آب شور از آن عبور کرده به حدود چهل برابر افزایش یافته است. بنابراین ملاحظه می‌گردد که خاک بصورت یک فیلتر عمل کرده و مقدار قابل ملاحظه‌ای از نمکهای موجود در آب را برمرور زمان جذب نموده است. به نظر می‌رسد که میزان این جذب برای مدت آزمایش در طول زمان ثابت است، اما در صورت طولانی شدن مدت آبگذری، این میزان بمرور کاهش خواهد یافت.

ب - آزمایشهای هویتی و فیزیکی

تعدادی آزمایش تراکم بر روی مصالح عبوری از الک ۳/۸ اینچ با آبهای انتخاب شده انجام پذیرفت. جدول ۳ نتایج این آزمایشها را که براساس روش C استاندارد ASTM D698-70 انجام شده است نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که تفاوت مشخصی در حداکثر وزن مخصوص خشک ایجاد نشده است. لیکن درصد رطوبت بهینه در نمونه‌های آماده شده با آبهای شور و نیمه شور مقدار کمی افزایش (حدود ۰/۵ درصد) نشان می‌دهد.

بجز آزمایش تراکم که ذکر گردید، کلیه آزمایشهای هویتی که ذیلاً توضیح داده می‌شوند مشتمل بر آزمایشهای قبل و بعد از عبور دراز مدت آب شور می‌باشد. همچنین لازم به توضیح است که نمونه‌های مربوط به انجام آزمایش آبگذری دراز مدت بوسیله آب شیرین تهیه و متراکم شده‌اند (براساس پیشنهاد طرح) و سپس تحت آزمایش قرار گرفته‌اند.

جدول ۴ نتایج آزمایشهای حدود اتربرگ را قبل از آزمایش آبگذری و جدول ۵ نتایج همین آزمایشها را پس از آزمایش آبگذری با آبهای مختلف نشان می‌دهند. همانطور که ملاحظه می‌گردد حد روانی خاک تحت تأثیر دراز مدت آبهای شور و نیمه شور بمقدار قابل توجهی (حدود ۵ درصد) کاهش نشان می‌دهد لیکن حد خمیری کاهش ناچیزی را نشان داده است. همچنین بین حدود اتربرگ خاکهایی که بمدت ۳ ماه تحت تأثیر آبهای شور قرار گرفته‌اند در مقایسه با خاکهایی که این زمان برای آنها ۱/۵ ماه بوده است تفاوت قابل ملاحظه وجود ندارد. کاهش در حدود اتربرگ برای خاکهایی که تحت جریان آب شورتر قرار گرفته‌اند بیشتر است.

از مهمترین آزمایشهای مورد بررسی برای خاکها با توجه به استفاده آنها در هسته سد، آزمایشهای مربوط به واگرایی است. جهت این بررسیها آزمایشهای پین‌هول و کرامب انجام شد اما بدلیل شوری بیش از حد آنها آزمایش هیدرومتری دوگانه عملی نگردید. جدول ۶ نتایج آزمایش پین‌هول را قبل از آبگذری و جداول ۷ و ۸ نتایج این آزمایش را بر روی نمونه‌های خاکی که تحت اثر دراز مدت آب شور و نیمه شور قرار گرفته‌اند نشان می‌دهد. همچنین جدول ۹ نتایج آزمایش کرامب را قبل از تأثیر و جداول ۱۰ و ۱۱ نتایج این آزمایش را بعد از تأثیر آب شور و نیمه شور نشان داده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود بر پایه این آزمایشها اصولاً خاک مورد آزمایش در تماس با آبهای شور، نیمه شور و شیرین غیرواگرا می‌باشد در آزمایشهای پین‌هول، تنها یک مورد استعداد واگرایی متوسط (ND4) تحت اثر آب شیرین مشاهده شده است. در مجموع تفاوت چندانی در پتانسیل واگرایی خاک هنگام آزمایش با آبهای شور و شیرین مشاهده نشده است، لیکن ظاهراً آبهای شور و نیمه شور کاهش اندکی در پتانسیل واگرایی خاک ایجاد نموده است.

ج - آزمایش نفوذپذیری

منحنی تغییرات نفوذپذیری در دستگاه آزمایش ساخته شده، برای دو نمونه خاک عبوری از الک ۳/۸ اینچ در طی مدت زمان سه ماه در شکل ۳ نشان داده شده است. مقادیر نفوذپذیریهای بدست آمده در کلیه آزمایشهای انجام شده، برای اختلاف دانسیته آب شیرین و شور مورد اصلاح قرار گرفته‌اند. همانطور که از شکل مشاهده می‌گردد، نفوذپذیری دو نمونه پس از مدت زمان ۱۲ هفته، حدود ۷۰ برابر برای آب نیمه‌شور و ۱۰۰ برابر برای آب شور، کاهش نشان می‌دهد. همچنین کاهش نفوذپذیری برای نمونه خاک تحت تأثیر آب شور با سرعت بیشتری صورت گرفته، بطوریکه پس از مدت زمان حدود ۶ هفته، منحنی تغییرات آن حالت تقریباً افقی بخود گرفته است. با بررسی نمونه‌های تحت آزمایش ملاحظه گردید که کریستاله شدن بیشتر نمک در درون خاک در نمونه تحت اثر آب شور، دلیلی قاطع بر علت کاهش بیشتر نفوذپذیری در این نمونه نسبت به آب نیمه شور می‌باشد. همچنین بدلیل سرعت نسبتاً بالای کریستال شدن نمکهای کلریدسدیم، این عامل می‌تواند توجیه کننده سرعت بیشتر کاهش نفوذپذیری در نمونه تحت اثر آب شور در هفته‌های اول آزمایش باشد.

د - آزمایشهای مکانیکی

آزمایشهای تحکیم یک بعدی بر روی نمونه‌های عبوری از الک نمره ۸ در قبل از تأثیر آب شور و بعد از آن انجام شده و نتایج آنها در اشکال ۴ و ۵ بصورت نسبت تخلخل در مقابل فشار بارگذاری ترسیم شده‌اند. همچنین پارامترهای تحکیمی خاک در جدول ۱۲ برای هر دو شرایط قبل از تأثیر و بعد از تأثیر آب شور ارائه شده‌اند. با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که خاکهای تحت اثر آب شور دارای قابلیت تراکم پذیری کمتری هستند و به خصوص در نمونه خاکی که مدت ۱/۵ ماه تحت تأثیر آب شور در دستگاه قرار داشته است این کاهش بیشتر به چشم می‌خورد. این موضوع می‌تواند بدلیل انتشار و حرکت نمک به درون خاک باشد.

آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های خاک عبوری از الک نمره ۸ برای هر دو شرایط قبل و بعد از تأثیر آب شور و نیمه شور در جدول ۱۳ ارائه شده است. با توجه به این نتایج تفاوت مشخص و بارزی در پارامترهای مقاومتی خاک در تماس با آبهای شور و نیمه شور دیده نمی‌شود، لیکن چسبندگی و مقاومت برشی باقیمانده خاک در تماس با آبهای شور و نیمه شور، مقداری افزایش نشان می‌دهد.

نتیجه گیری

- با توجه به آزمایشهای انجام شده، تغییر رفتار خاک در تماس با دو نوع آب شور و آب نیمه‌شور مورد مطالعه در این تحقیق را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:
- ۱- تماس با آبهای شور سبب کاهش پلاستیسیته (دامنه خمیری) خاک با کاهش قاطع و مسلم حد روانی است، لیکن حد خمیری خاک تفاوت مشخصی نشان نمی‌دهد. (در آزمایشهای انجام شده برای نمونه‌های آماده شده با آبهای شور، کاهش به میزان ۲ و ۵ درصد و برای نمونه خاکهای حاصل از تأثیر درازمدت آبهای شور، کاهش ۱۵ و ۲۰ درصد در حد روانی مشاهده شد).
 - ۲- خاک قرصه (خاک شیرین) در تماس با آبهای شور، نیمه‌شور و شیرین، عموماً بصورت خاک با واگرایی بسیار کم طبقه‌بندی می‌گردد. همچنین تفاوت چندانی در پتانسیل واگرایی خاک، هنگام آزمایش با آبهای مختلف مشاهده نشد. لیکن ظاهراً پتانسیل واگرایی خاک، کاهش کمی در تماس با آبهای شور نشان داده است.
 - ۳- خاکهایی که به مدت ۳ ماه تحت تأثیر آبهای شور و نیمه‌شور قرار گرفته بودند، در آزمایش با این آبها، دارای قابلیت واگرایی کم، لیکن در تماس با آب شیرین، دارای استعداد واگرایی متوسط می‌باشند.
 - ۴- تأثیر آبهای شور بر نفوذپذیری خاک مورد مطالعه، همواره با کاهش نفوذپذیری همراه بوده است. (کاهش نفوذپذیری به میزان ۱۰۰ برابر برای آب شور با غلظت بالا و ۷۰ برابر برای آب نیمه‌شور با غلظت کمتر در مدت زمان ۳ ماه مشاهده شده است).
 - ۵- به نظر می‌رسد کاهش نفوذپذیری بدلیل فرسایش مکانیکی ذرات ریز خاک و همچنین کاهش تخلخل خاک در اثر پخش و کریستاله شدن نمک در خلل و فرج آن است.

۶- خاک مورد مطالعه در تماس با آبهای شور، کاهش حجم بسیار اندکی در تنش محوری پایین (۱۵ کیلوپاسکال) نشان داد (۰/۰۸ درصد برای آب شور غلیظتر و ۰/۲۸ درصد برای آب شور با غلظت کمتر). همچنین در این تنش هنگام تماس با آب شیرین مقدار کمی افزایش حجم، بوجود آمده است. در تنشهای محوری بالاتر، در تماس با آبهای شور هیچ تغییر حجمی مشاهده نشد.

۷- رفتار خاک در تماس با آبهای شور، در ارتباط با دو عامل پخش و انتشار املاح نمکی بدرون خاک و کاهش ضخامت لایه دوگانه خاک پیش بینی می گردد.

۸- نمونه‌های تحت اثر آب شور در آزمایش تحکیم، کاهش تراکم پذیری نشان داده‌اند. این کاهش برای نمونه‌ای که به مدت ۱/۵ ماه تحت تأثیر آب شور قرار داشت، قابل توجه بوده است.

۹- در آزمایشهای تراکم انجام شده، تغییر محسوسی در حداکثر وزن مخصوص خشک نمونه‌های آماده شده با آبهای مختلف مشاهده نشد. با این وجود درصد رطوبت بهینه حدود ۰/۵ درصد برای نمونه‌های آماده شده با آبهای شور، افزایش نشان می‌دهد.

۱۰- در آزمایشهای برش مستقیم انجام شده، تغییر مشخصی در پارامترهای مقاومتی خاک، هنگام تماس با آبهای دارای املاح نمکی مشاهده نشد، لیکن مقاومت برشی باقیمانده خاک و چسبندگی آن، مقداری افزایش نشان می‌دهند.

با توجه به نتایج فوق ملاحظه می‌شود که بطور کلی تغییرات ایجاد شده در رفتار ژئوتکنیکی خاک در تماس با دو نوع آب شور مورد مطالعه، چندان زیاد نیست. این موضوع می‌تواند بدلیل فعالیت کم کانی رس موجود در خاک باشد زیرا با توجه به مشخصات خمیری خاک و منحنی پلاستیسیته کاساگرانده در تعیین نوع کانیهای رسی، کانی رس غالب در خاک مورد مطالعه، کائولینیت می‌باشد که غیرفعالترین کانی رسی از نظر فعالیت شیمیایی بشمار می‌رود. همچنین ملاحظه می‌شود که نتایج بدست آمده در کلیه آزمایشها، همخوانی و سازگاری خوبی با نتایج بدست آمده توسط دیگر محققین [۴] دارد. لیکن نتایج محققین مختلف، بیانگر افزایش نفوذپذیری خاکهای رسی در تماس با آبهای شور است حال آنکه در تحقیق حاضر، کاهش نفوذپذیری زیادی در تماس با آبهای شور مشاهده شده است.

این اختلاف فاحش بدین دلیل است که خاک مورد آزمایش توسط اکثر محققین عمدتاً رس خالص با کانی مونت موریلونیت بوده است که فعالترین کانی رسی از نظر فعالیت فیزیکی - شیمیایی می‌باشد. همچنین ضخامت لایه دو گانه کانی رس فوق در تماس با آب شور، کاهش زیادی می‌یابد و بدلیل اینکه انقباض و جمع شدگی کانیهای رسی نمی‌تواند همگام با کاهش حجم توده خاک گردد، افزایش تخلخل نسبی خاک را سبب گشته و نفوذپذیری خاک افزایش می‌یابد. در حالیکه خاک مورد مطالعه در تحقیق حاضر، ترکیبی از خاک رس همراه با لای و ماسه و کانی رس غالب کائولینیت می‌باشد. کاهش نفوذپذیری در این حالت، بیشتر بدلیل فرسایش مکانیکی ذرات لای و ماسه و همچنین پخش و کریستاله شدن نمک در درون خلل و فرج خاک بدلیل غلظت بسیار بالای آبهای شور مورد استفاده است. بنظر می‌رسد به علت استفاده از فشار هیدرواستاتیک بالا، تأثیر دو عامل فوق بشدت افزایش یافته است.

با توجه به تغییرات اندک رفتار ژئوتکنیکی خاک در تماس با آبهای شور و با توجه به کیفیت خوب این مصالح جهت استفاده در هسته رسی سدها، استفاده از این مصالح در ساخت سدهای ذخیره آب شور مناسب تشخیص داده می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از آقایان مهندس جعفر یزنی و مهندس سیدسعید علمدار که بخش‌هایی از این تحقیق تحت کوشش آنها در دوران تحقیق بر روی پایان‌نامه دانشجویی انجام پذیرفته است تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل که هزینه‌های انجام پروژه را تقبل نموده و همچنین شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو که در تهیه اطلاعات و نمونه‌های آب و خاک اینجانب را یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

جدول (۱) نتایج تجزیه شیمیایی دو نوع آب شور عبور کرده از خاک در مدت سه ماه.

گذشت زمن (روز)	آب شور								آب نیمه شور							
	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm	TDS Ppm	PH	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm	TDS ppm	PH
۰	۴۸۰۰	۲۹۰۰	۱۱۲۵۰۰	۵۰۰	۱۴۲۰۰۰	۴۶۵۰	۲۷۶۴۰۰	۷/۲۴	۳۲۰۰	۴۸۰	۲۷۰۰۰	۸۵	۲۷۰۰۰	۳۶۰۰	۴۹۴۵۰	۷/۵۳
۱۵	۲۳۰۰	۲۷۲۰	۱۰۰۰۰۰	۳۰۰	۱۶۱۵۲۵	۲۲۰۱	۲۷۳۴۰۰	۷/۴۶	۱۳۰۰	۳۲۴	۲۵۰۰۰	۱۰۰	۲۷۵۱۲	۴۴۸۵	۴۶۸۵۰	۸/۱۳
۳۰	۲۴۸۰	۲۶۲۴	۱۱۲۵۰۰	۳۰۰	۱۶۰۸۱۵	۱۳۴۹	۲۹۴۷۱۲	۷/۲۸	۱۴۴۰	۲۶۴	۲۵۰۰۰	۱۰۰	۲۶۶۲۵	۹۵۴۷	۶۳۲۸۵	۷/۷۹
۹۰	-	-	۱۱۲۵۰۰	۳۰۰	۱۶۱۵۲۵	۴۵۲۸	۲۷۷۰۵۰	-	۱۳۹۲	۲۳۰	۲۵۰۰۰	۱۰۰	۲۵۷۳۷	۲۵۵۵	۴۶۱۸۰	-

جدول (۲) نتایج تجزیه شیمیایی خاکها در قبل و بعد از آزمایش آبگذری.

		Ec mmho/cm	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ Ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm	TDS ppm	PH
خاک اولیه (خاک شیرین)		۱/۳۲	۱۰۰	۰	۹۰	۳۰	۱۰۶	۴۰۰	۷۵۰	۸/۷۲
آبهای شور بمدت سه ماه	خاکهای تحت تاثیر	۱۴/۳	۸۰	۰	۲۱۵۰	۲۰	۵۳۲۵	۹۹۵	۷۷۲۰	۷/۳۷
	خاک شور	۳۳/۵	۳۴۰	۰	۱۰۷۵۰	۴۰	۱۸۸۱۵	۱۱۰۳	۲۶۷۶۰	۷/۵۲

جدول (۳) آزمایشهای تراکم با آبهای مختلف.

آب شیرین		آب نیمه شور		آب شور	
W _{opt}	Y _{d max} (gr/cm ³)	W _{opt}	Y _{d max} (gr/cm ³)	W _{opt}	Y _{d max} (gr/cm ³)
۱۱/۵	۲/۰۳	۱۲/۲	۱/۹۴	۱۲/۲	۱/۹۸
۱۱/۳	۱/۹۹	۱۱/۸	۱/۹۷	۱۱/۹	۱/۹۷
۱۱/۶	۲	۱۲	۱/۹۹	۱۲/۳	۲/۰۲
۱۱/۱	۱/۹۶	۱۲	۱/۹۶	۱۱/۹	۱/۹۹

جدول (۴) نتایج آزمایشهای حدود اثر برگ برای خاک با آبهای مختلف.

حدوداتر برگ	آب شیرین	آب نیمه شور	آب شور
حد روانی	۲۵/۱۲	۲۴/۷۳	۲۳/۷۵
حد خمیری	۱۶/۹	۱۷/۲	۱۶/۱
دامنه خمیری	۸/۲۲	۷/۵۳	۷/۶۵

جدول (۵) نتایج آزمایشهای حدود اثر برگ بر روی خاکهای تحت تاثیر دراز مدت آبهای شور.

	خاک زیر دستگاه به مدت ۱/۵ ماه		خاک زیر دستگاه به مدت ۳ ماه	
	تحت اثر آب نیمه شور	تحت اثر آب شور	تحت اثر آب نیمه شور	تحت اثر آب شور
حد روانی	۲۱/۸۵	۲۰/۴۸	۲۱/۱۰	۲۰/۵۵
حد خمیری	۱۶/۵۲	۱۶/۰۶	۱۶/۴۳	۱۵/۸۴
دامنه خمیری	۵/۳۳	۴/۴۲	۴/۴۷	۴/۷۱

جدول (۶) نتایج آزمایش پین هول با آبهای مختلف بر روی خاک قبل از آزمایش آبگذری.

شماره آزمایش	آب شور	آب نیمه شور	آب شیرین
۱	غیر واگرا (ND ₂)	غیر واگرا (ND ₂)	غیر واگرا (ND ₂)
۲	غیر واگرا (ND ₂)	غیر واگرا (ND ₂)	غیر واگرا (ND ₂)
۳	غیر واگرا (ND ₂)	غیر واگرا (ND ₂)	متوسط واگرا (ND ₂)
۴	-	-	غیر واگرا (ND ₂)

جدول (۷) نتایج آزمایش پین هول بر روی خاک بعد از آزمایش آبگذری با آب شور.

شماره آزمایش	آب شور	آب شیرین
۱	کم واگرا (ND ₃)	متوسط واگرا (ND ₄)
۲	غیر واگرا (ND ₂)	غیر واگرا (ND ₂)
۳	غیر واگرا (ND ₂)	متوسط واگرا (ND ₄)

جدول (۸) نتایج آزمایش پین هول بر روی خاک بعد از آزمایش آبگذری با آب نیمه شور.

شماره آزمایش	آب نیمه شور	آب شیرین
۱	غیر واگرا (ND ₂)	غیر واگرا (ND ₂)
۲	غیر واگرا (ND ₂)	کم واگرا (ND ₃)
۳	متوسط واگرا (ND ₄)	کم واگرا (ND ₃)

جدول (۹) نتایج آزمایش کرامب بر روی نمونه‌های آماده شده با آب شیرین و آزمایش شده با آبهای مختلف.

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶
آب مورد آزمایش	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرای نسبی	غیر واگرا
آب شور	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرای نسبی	غیر واگرا
آب نیمه شور	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا
آب شیرین	غیر واگرای نسبی	غیر واگرای نسبی	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا

جدول (۱۰) نتایج آزمایش کرامب بر روی نمونه خاک تحت آبگذری آب شور بمدت ۳ ماه.

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵
آب مورد آزمایش	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا
آب شور	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا
آب شیرین	غیر واگرای نسبی	غیر واگرای نسبی	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرای نسبی

جدول (۱۱) نتایج آزمایش کرامب بر روی نمونه خاک تحت آبگذری آب نیمه شور بمدت ۳ ماه.

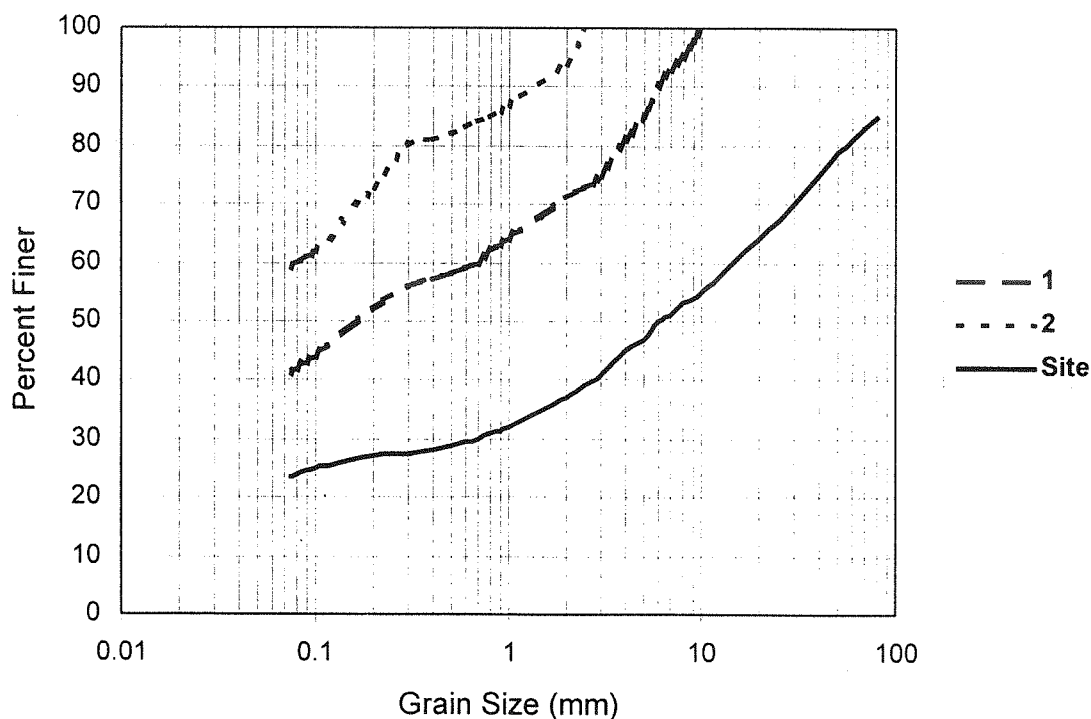
شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵
آب مورد آزمایش	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا
آب نیمه شور	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا
آب شیرین	متوسط واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا	غیر واگرا

جدول (۱۲) مقادیر پارامترهای تحکیمی خاک در شرایط آزمایشهای مختلف.

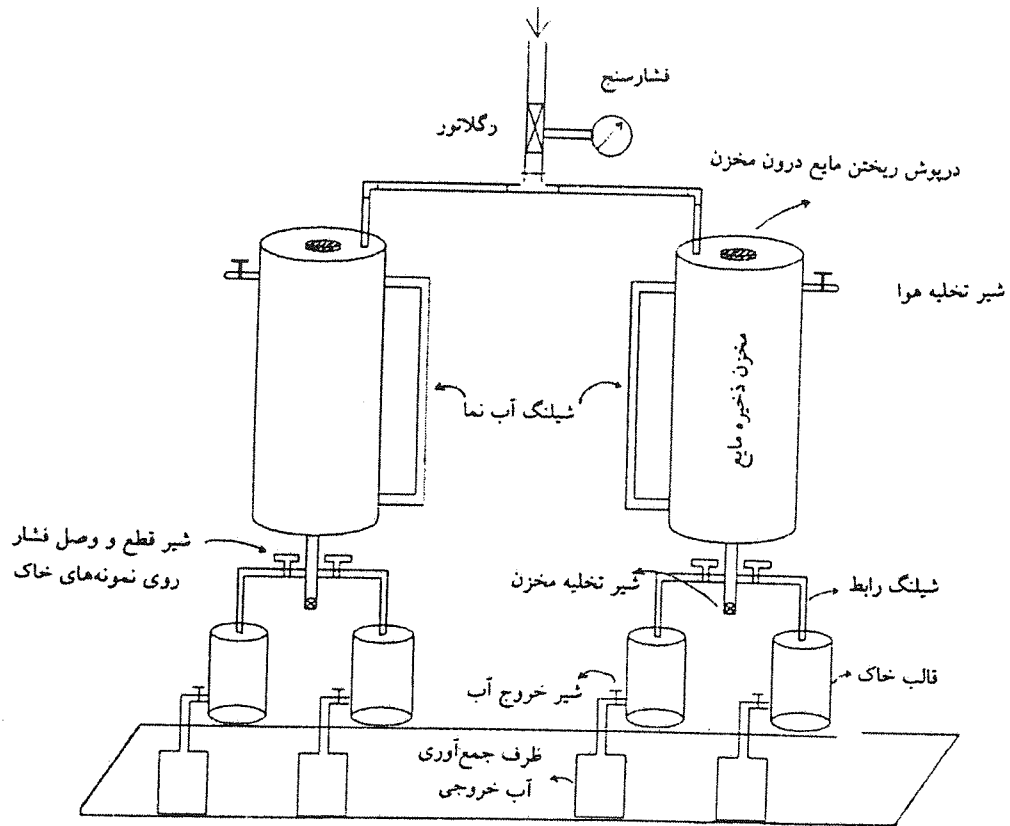
قابلیت تراکم پذیری (a _v) (Kpa) ⁻¹ × 1E4	نشانه تورم (C _s)	نشانه فشردگی (C _c)		
۱/۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۴۹	تحت اثر آب شور	نمونه های زیردستگاه به مدت ۱/۵ ماه
۱/۳۶	۰/۰۰۹	۰/۰۵۹	تحت اثر آب نیمه شور	
۱/۳۸	۰/۰۰۸	۰/۰۶۳	آب شور	نمونه های عادی
۱/۵۷	۰/۰۱۰	۰/۰۷۸	آب نیمه شور	
۱/۵۵	۰/۰۰۸	۰/۰۷۲	آب شیرین	

جدول (۱۳) نتایج آزمایش برش مستقیم برای خاک در شرایط قبل و بعد از آزمایش آبگذری (واحدها بر حسب کیلوپاسکال است).

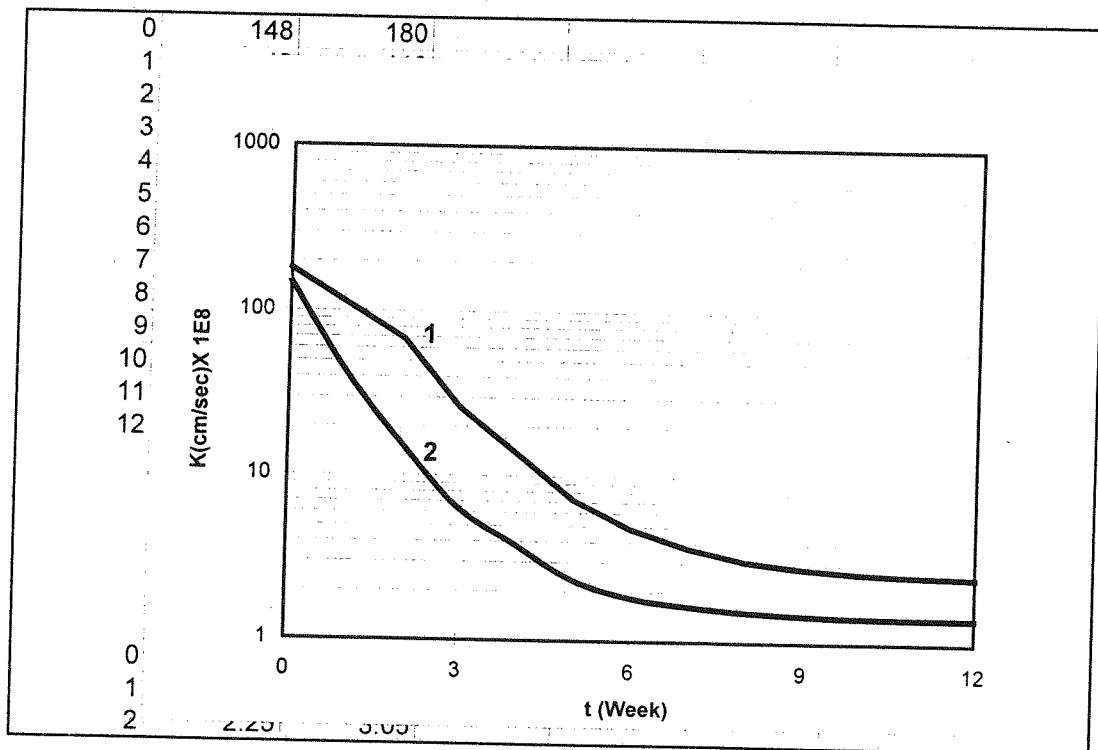
	آب مورد استفاده در طی آزمایش	تنش قائم (σ _a)						c	φ
		۱۰۰		۲۰۰		۴۰۰			
		τ _{Res}	τ _{max}	τ _{Res}	τ _{max}	τ _{Res}	τ _{max}		
نمونه های آماده شده با آب شیرین	آب شیرین	۷۲	۸۹	۱۲۲	۱۵۳	۲۳۰	۲۷۷	۲۷/۲	۳۲
	آب نیمه شور	۷۹	۹۳	۱۳۹	۱۴۷	۲۵۱	۲۶۱	۳۶	۲۹/۲
	آب شور	۸۳	۸۷	۱۱۴	۱۶۱	۲۴۲	۲۸۲	۳۲	۳۳
نمونه های زیر دستگاه	آب نیمه شور	--	--	۱۳۱	۱۴۲	۲۲۹	۲۴۲	۴۲	۲۶/۶
	آب شور	--	--	۱۵۹	۱۶۳	۲۵۳	۲۸۵	۴۱	۳۱/۳



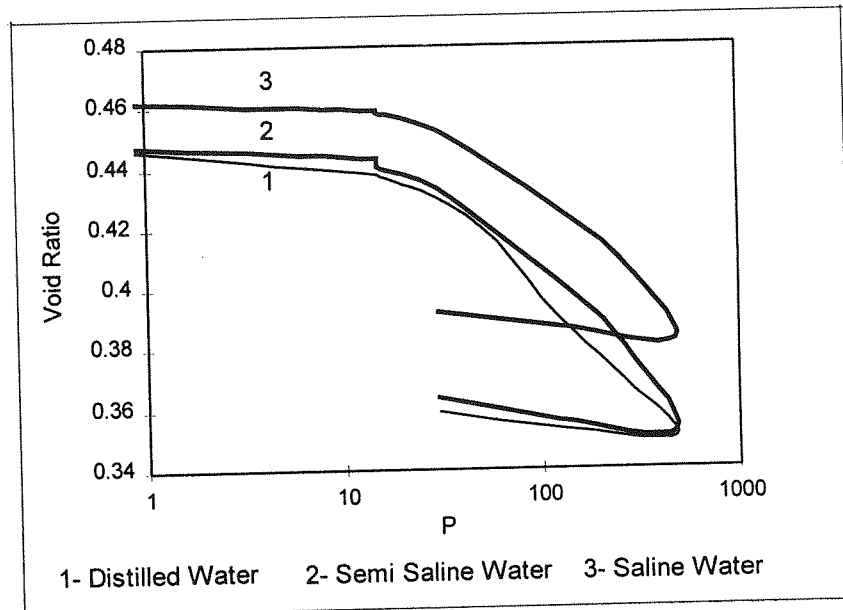
شکل (۱) منحنی‌های دانه‌بندی مصالح ساختمانی و مصالح استفاده شده در تحقیق حاضر.
۱- مصالح عبوری از الک ۳/۸ اینچ ۲- مصالح عبوری از الک نمره ۸



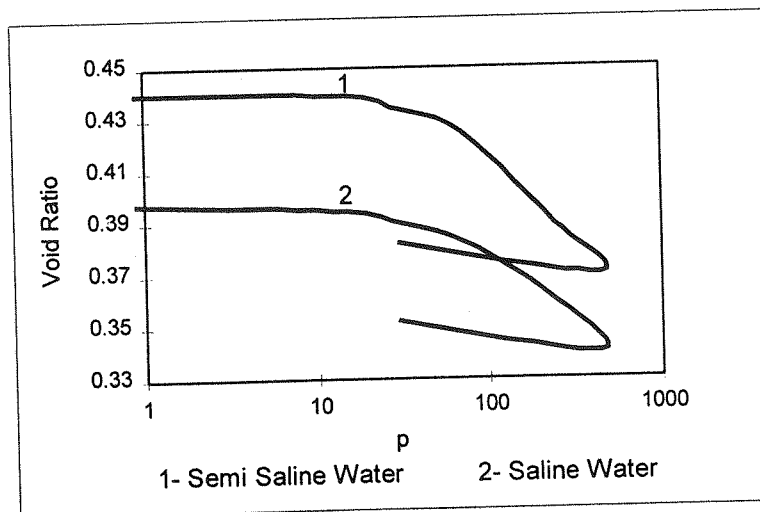
شکل (۲) تصویر شماتیک دستگاه آزمایش اثر دراز مدت آب شور بر خاکهای ریزدانه.



شکل (۳) منحنی تغییرات نفوذپذیری دو نمونه از خاک در طی ۳ ماه.
 ۱- نمونه تحت تأثیر آب نیمه شور ۲- نمونه تحت تأثیر آب شور



شکل (۴) منحنی فشار - نسبت تخلخل در آزمایش تحکیم با آب شیرین و جایگزینی آب شور و نیمه شور با آب شیرین



شکل (۵) منحنی فشار - نسبت تخلخل برای دو نمونه خاک تحت تأثیر آبهای شور و نیمه شور بمدت ۱/۵ ماه.

مراجع

- ۱ - سیدسعید علمدار، پایان نامه کارشناسی ارشد، «تأثیر دراز مدت آب شور بر خاک رس»، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۸.
- ۲ - «طرح ارتقاء و کنترل کیفیت آب حوزه آبی چای و گزینه‌های جداسازی آبهای شور و شیرین»، گزارش مهندسین مشاور قدس نیرو، ۱۳۷۵.
- ۳ - «طرح سد مخزنی ونیار - گزارش فاز یک»، شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو، ۱۳۷۴.
- ۴ - عسگری - فرج ا... و فاخر - علی، «تورم و واگرایی خاکها از دید مهندسی ژئوتکنیک»، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران، ۱۳۷۲.
- ۵ - کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، نشریه شماره ۸، «شناسایی و کاربرد خاکهای واگرا در سدهای خاکی»، ۱۳۷۵.
- ۶ - یزنی - جعفر، پایاننامه کارشناسی ارشد، «کاربرد مصالح واریزه‌ای در هسته رسی سدهای مخزنی آب شور»، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۵.