مسائل ژئوتکنیکی خاک‌های مسأله‌دار جهت احداث کانال‌های آبیاری بر روی آن‌ها

محسن رضائی[۱]، محمد غفوری[۲]، رسول اجل لوئیان[۳]، میثم صفویان[۴]

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۸//۲۸
تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۰۲

مقاله برگرفته از مطالعات محققین در پروژه‌های مختلف می‌باشد.

چکیده

کانال‌های انتقال آب در شبکه‌های آبیاری، از جمله سازه‌هایی می‌باشند که معمولاً در بیشتر طول خود بر روی خاک قرار می‌گیرند و جهت احداث کانال بایستی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک به دقت بررسی گردد. بیشترین مشکلات را برای کانال‌ها، خاک‌های دانه ریز بوجود می‌آورند که می‌توانند خصوصیاتی مانند تورم، واگرایی، رمبندگی و در صورت وجود مواد قابل حل، انحلال داشته باشند. این خاک‌ها در صورت داشتن خاصیت تورمی، پس از مرطوب شدن افزایش حجم داده و باعث بالا زدن کف کانال و شکستن لاینینگ کانال می‌شوند و در صورت داشتن درصد بالای مواد قابل حل و یا خاصیت واگرایی و رمبندگی، در اثر مرطوب شدن، خاک تغییر بافت داده و نشست می‌کند و این نشست باعث تخریب کانال می‌شود. در این مطالعه، مسائل ژئوتکنیکی کانال‌های آبیاری رودشت جنوبی و مهیار در استان اصفهان و سورک در استان چهار محال و بختیاری بررسی شده و با توجه به برخورد به خاک‌های قابل انحلال، رمبنده و متورم شونده، برای اصلاح آنها راهکارهای مناسب نظیر تعویض خاک، بارگذاری و غرقاب سازی و آب‌بند کردن کانال ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: انحلال، تورم، خاک‌های مسأله دار، رمبندگی، ژئوتکنیک، واگرایی

Archive of SID

۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران، ۰۹۱۳۲۰۴۶۵۱۹ Rezaei.eng@stu-mail.um.ac.ir
۲ استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران، Ghafoori@um.ac.ir
۳ دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان ، ایران، ۰۳۱۱-۷۹۳۲۱۹۰ Ajalloeian@gmail.com
۴ کارشناسی ارشد، شرکت مهندسین مشاور زایندآب، اصفهان ، ایران، ۰۳۱۱-۶۲۶۲۱۰۱ Safavian.eng@gmail.com

www.SID.ir

مقدمه

خاک‌های مسأله‌دار خاک‌هایی می‌باشند که بر اثر قرار گرفتن تحت شرایط مختلف بار و رطوبت ناشی از ساخت و ساز مشکلاتی را در طول دوران ساخت و یا بهره برداری از آن سازه ایجاد می‌کنند که این موضوع در ژئوتکنیک حائز اهمیت است (بریسکولند و چون، ۲۰۰۱). زیرا بعضی مواقع با افزایش رطوبت، تغییر پدید آمده در خاک منجر به خسارات عمده در پروژه‌های عمرانی می‌شود. این خاک‌ها در برابر آب حساس هستند و مهمترین آنها عبارت از خاک‌های متورم شونده، واگرا، انحلال‌پذیر و رمبنده می‌باشند (مک کارتی، ۲۰۰۶، بل و کالشاو، ۲۰۰۱).

یکی از سازه‌هایی که معمولاً با خاک‌های مسأله‌دار در ارتباط می‌باشند، کانال‌های آبیاری هستند. این کانال‌ها در کنار زمین‌های کشاورزی ساخته می‌شوند که معمولاً دارای درصد بالایی از خاک‌های ریزدانه هستند. این خاک‌های ریزدانه در مناطق و شرایط مختلف، خصوصیات متفاوتی دارند و مشکلات متفاوتی را برای کانال‌هایی که بر روی آنها ساخته می‌شوند، بوجود می‌آورند. به گزارش خبرگزاری مهر در تاریخ ۱۳۸۷/۳/۷ به نقل از دکتر رحیمی، در حاشیه اولین سمینار مسائل ژئوتکنیکی شبکه‌های آبیاری و زهکشی ۱۳۸۷، حدود ۷۰ درصد کانال‌های احداث شده در کشور، بر اثر وجود مشکلات ژئوتکنیکی خاک پی و یا منابع قرضه، صدمه دیده است که بیشتر آنها با خاک‌های مسأله‌دار در ارتباط می‌باشد.

در این نوشتار به بررسی مهمترین خاک‌های مسأله‌دار پرداخته شده و در مواردی که اطلاعاتی در دست بوده‌است، به مطالعات موردی در مورد این خاک‌ها در کانال‌های آبیاری اشاره شده و سعی شده است برای مشکلات بوجود آمده و یا محتمل، راهکارهای مناسبی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

خاک‌های متورم شونده[1]

خاک‌های متورم شونده خاک‌هایی می‌باشند که به سبب جذب آب زیاد حجم آن‌ها افزایش چشمگیری می‌یابد. این خاک‌ها، خاک‌های دانه‌ریزی هستند که مقدار کانی‌های رسی متورم شونده مانند مونت موریونیت در آن‌ها زیاد می‌باشد (عسکری و فاخر، ۱۳۷۲). تورم کانی‌های رسی بر اثر آبگیری فشاری را ایجاد می‌کند که به آن فشار تورمی گفته می‌شود. فشار تورمی می‌تواند موجب خرابی ساختمان‌های سبک نظیر پوشش بتنی کانال‌های آبیاری، دال‌های بتنی و غیره گردد (اوزر و همکاران، ۲۰۱۱، ینیس و همکاران، ۲۰۱۰). جهت شناسایی دقیق خاک‌های متورم شونده، آزمایش‌های آزمایشگاهی بهترین راه می‌باشند اما جهت شناسایی اولیه، بازدیدها و روش‌های صحرایی می‌توانند مفید واقع شوند (هانت، ۲۰۰۷ ، رحیمی، ۱۳۷۹). برای شناسایی این خاک‌ها در آزمایشگاه روش‌های مستقیم و غیرمستقیم وجود دارد که از جمله روش‌های غیرمستقیم می‌توان به دانه‌بندی و حدود آتربرگ اشاره کرد. در روش مستقیم نمونه دست‌نخورده و یا ریمولد شده[2] خاک را در داخل دستگاه سنجش تورم قرار داده و تورم آن در اثر جذب آب اندازه‌گیری می‌شود. هنگامی که کانالی بر روی خاک‌های متورم شونده احداث می شود بر اثر نشت آب از کانال و اشباع شدن خاک، در آن تورم ایجاد می‌شود. در صورتی که فشار تورمی خاک از وزن کانال احداث شده بیشتر باشد، تغییرات حجم خاک باعث به وجود آمدن ترک، جابجایی، بالازدگی و به طور کلی تخریب پوشش کانال می‌شوند(رضائی و اجل لوئیان، ۱۳۸۷). تجربیات متعددی از کانال‌های تخریب شده بر اثر پدیده تورم در کشور وجود دارند و نشان می‌دهند که شکستگی‌های ناشی از تورم، ابتدا در دیواره کانال و به موازات آن و در ارتفاع یک سوم عمق کانال از کف آن اتفاق می‌افتند.

شبکه آبیاری در حال احداث سورک در استان چهارمحال و بختیاری دارای ۲۱ کیلومتر کانال اصلی می‌باشد که در بیشتر طول خود بر روی خاک‌های ریزدانه قرار گرفته‌اند. بخشی از این شبکه آبیاری، توسعه شبکه موجود در منطقه می‌باشد. در برخی از بخش‌های کانال‌های موجود، شکستگی‌هایی در پوشش بتنی کانال‌ها اتفاق افتاده است که به نظر می‌رسد ناشی از تورم باشند. شکل(۱) نمونه‌ای از این شکستگی‌ها را نشان می‌دهد. جهت بررسی مسائل ژئوتکنیکی شبکه جدید، در طول مسیر کانال‌ها، تعداد ۵۰ حلقه چاهک حفاری شد. از تمامی این چاهک‌ها نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده تهیه شد و آزمایش‌های دانه‌بندی، چگالی خشک و حدود آتربرگ بر روی تمامی آن‌ها انجام گردید. با توجه به نتایج این آزمایش‌ها، بر روی نمونه‌های هفت چاهک که احتمال

[1] Swelling Soils

[2] Remolded

Archive of SID
www.SID.ir

متورم شوندگی آن‌ها بالا بود، آزمایش تورم با تعیین فشار تورمی انجام گردید که در جدول(۱) نتایج این آزمایش‌ها ارائه شده‌اند. برخی از این آزمایش‌ها نشان از

شکل(۱): نمونه‌ای از شکستگی‌های ناشی از تورم در کانال‌های موجود در شبکه آبیاری سورک

همانگونه که در جدول(۱) مشخص است، حداکثر فشار تورمی که این خاک‌ها می‌توانند به پوشش بتنی کانال وارد کنند، ۰/۳۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است که می‌تواند پوشش بتنی کانال را تخریب نماید. به همین دلیل، برای جلوگیری از تخریب کانال، بایستی تمهیداتی اندیشیده شود.

جهت کنترل تورم روش‌های مختلفی وجود دارد که در اینجا فقط به صورت فهرست‌وار به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود (عسگری و فاخر، ۱۳۷۲):

- اصلاح خاک با استفاده از آهک
- اصلاح خاک با استفاده از سیمان
- تعویض بخشی از خاک

در شبکه آبیاری سورک، فشار تورمی خاک را می‌توان با قرار دادن سر باری، معادل ۰/۳۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع ، خنثی نمود. این فشار معادل وزن ضخامت حدود دو متر خاک می‌باشد. در بخش‌هایی که مقدار فشار تورمی پایین است، می‌توان از تعویض خاک با خاک فاقد پتانسیل تورم، برای اصلاح استفاده کرد. اما در فشارهای تورمی بالا، اصلاح خاک با استفاده از افزودنی‌ها مناسب‌ترین روش از نظر فنی و اقتصادی خواهند بود.

خاک‌های واگرا[1]

واگرایی پدیده‌ای است که باعث می‌شود خاک در برخورد با آب چسبندگی خود را از دست داده و ذرات تورم درجه پایین، در خاک بخش‌هایی از مسیر کانال، دارند.

جدول(۱): نتایج آزمایش‌های نمونه‌های منتخب مسیر کانال آبیاری سورک

TP	γ_d	e_0	LL	PI	σ_{sp} (kg/cm^2)
BHR2	۱/۵۴	۰/۶۸۸	۳۳/۶	۱۴/۱	۰/۳۵
BHL6	۱/۶۴	۰/۵۸۲	۳۱/۵	۱۳/۵	۰/۱۲
BHL13	۱/۶۰	۰/۶۲۳	۳۱/۷	۱۶/۷	۰/۱۵
BHL22	۱/۶۳	۰/۵۹۱	۳۶/۸	۱۶/۵	۰/۳۲
BHL30	۱/۵۴	۰/۶۸۰	۴۱/۴	۲۰/۷	۰/۲۲
BHR11	۱/۵۸	۰/۶۴۹	۲۲/۴	۵/۹	۰/۰۵۵
BHR18	۱/۷۲	۰/۵۱۶	۳۰/۷	۱۳/۵	۰/۰۲۸

همدیگر را دفع کنند و ذرات خاک حتی با نیروی کم ناشی از حرکت بسیار آرام آب از یکدیگر دور شوند و خاک دچار فرسایش سریع گردد. این فرسایش در داخل خاک می‌تواند سبب ایجاد حفرات بزرگ گردد و نشست ناگهانی خاک را باعث شود (یومش و همکاران، ۲۰۱۱). این نشست ناگهانی باعث آسیب دیدن سازه‌هایی که بر روی این خاک‌ها ساخته شده‌اند، می‌شود. خاک‌هایی که دارای مقدار زیادی کانی مونتموریلونیت[2] سدیم‌دار باشند، دارای پتانسیل واگرایی بالایی می‌باشند (عسکری و فاخر، ۱۳۷۲). جهت شناسایی خاک‌های واگرا روش‌هایی وجود دارند که به دو دسته روش‌های فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند. از روش‌های فیزیکی می‌توان آزمایش‌های کرامب، هیدرومتری دوگانه و پین‌هول را نام برد و از روش‌های شیمیایی تعیین واگرایی خاک می‌توان به روش درصد سدیم قابل تعویض (ESP)، روش نسبت جذب سدیم(SAR) و روش‌های دیگر اشاره کرد (عسگری و فاخر ۱۳۷۲، رحیمی، ۱۳۷۹).

با توجه به این موضوع که برای بوجود آمدن مشکل در خاک‌های واگرا نیاز به یک هد آب، مانند وجود یک مخزن آب می‌باشد، معمولاً در شبکه‌های آبیاری و مسیر کانال‌ها، خرابی‌های ناشی از واگرایی بندرت مشاهده می‌شود.

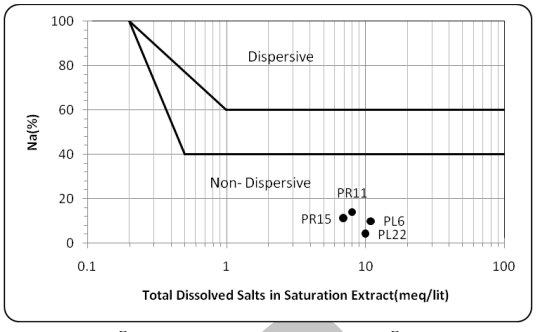
مطالعات واگرایی انجام شده در شبکه آبیاری سورک، نشان از غیر واگرا بودن این خاک‌ها دارند. در شکل(۲) نتایج آزمایش واگرایی نمونه‌های شبکه آبیاری سورک به

[1] Dispersive Soils

[2] Montmorillonite

Archive of SID
www.SID.ir

روش درصد سدیم در شیره اشباع، ارائه شده است. همانگونه که مشخص است، تمامی نمونه‌ها در بخش غیر واگرای نمودار قرار گرفته‌اند.



شکل(۲): نتایج آزمایش‌های واگرایی در شبکه آبیاری سورک (Sherard et al. 1976)

افزایش ۱ تا ۵ درصد وزنی آهک، سولفات آلومینیم، گچ، سیمان پرتلند به خاک و استفاده از فیلتر مناسب می‌توانند در کنترل واگرایی مفید باشند (عسگری و فاخر ۱۳۷۲).

خاک‌های قابل انحلال[1]

بر اثر تماس آب با خاک‌هایی که دارای مقادیری کانی‌های انحلال‌پذیر نظیر گچ و نمک هستند، مواد مذکور در آب حل شده و از محیط به صورت محلول در آب خارج شوند. در صورتی که مقدار این مواد در خاک زیاد باشد با تداوم انحلال می‌توانند موجب افزایش تخلخل و پوک شدن خاک گردیده و نشست‌های قابل ملاحظه‌ای در خاک ایجاد شود و این نشست‌ها باعث انهدام سازه‌های احداث شده بر روی این خاک‌ها می‌شوند (صفویان و رضائی، ۱۳۸۹). از طرف دیگر انحلال این مواد و بوجود آمدن فضاهای خالی باعث می‌شود که این فضاها با آب جایگزین شوند که این خود نیز می‌تواند باعث کاهش مقاومت خاک شود (رحیمی، ۱۳۷۹).

وجود مقادیر کم مواد انحلال‌پذیر تا حدود ۳٪ درخاک خطری را برای خاک ایجاد نمی‌کند و حتی برای سازه‌های کوچک این مقدار می‌تواند افزایش یابد. اما متأسفانه با وجود اینکه سطوح وسیعی از اراضی کشاورزی کشور که بر روی خاک‌های حاوی مواد انحلال‌پذیر قرار دارند، هنوز مطالعات دقیقی که نشان دهد وجود چه مقدار مواد انحلال‌پذیر در خاک می‌تواند مضر باشد، انجام نشده است (صفویان و رضائی، ۱۳۸۹).

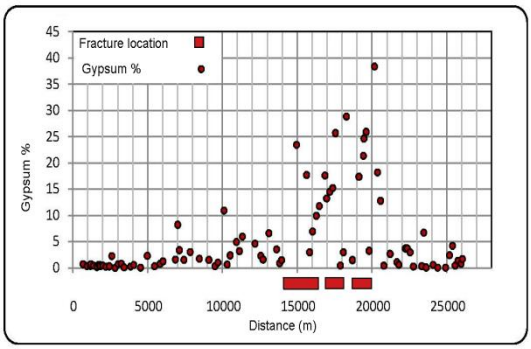
در این پژوهش، جهت بررسی تأثیر خاک‌های قابل انحلال بر روی کانال‌های آبیاری، مطالعات مسیر کانال اصلی شبکه آبیاری مهیار انتخاب شده است. شبکه آبیاری دشت مهیار در استان اصفهان و در ۳۰ کیلومتری جنوب شهر اصفهان واقع شده است و کانال مهیار، آب را از رودخانه زاینده رود (قبل از شهر اصفهان در غرب) گرفته و به منطقه جرقویه در جنوب شرق اصفهان منتقل می‌کند. بخش زیادی از طول ۵۰ کیلومتری این شبکه انتقال آب، بر روی خاک‌های حاوی مصالح انحلال‌پذیر احداث شده است. نفوذ آب از کانال به داخل زمین، باعث انحلال مصالح انحلال‌پذیر زیر کانال شده و در نقاط مختلف مسیر کانال باعث بوجود آمدن حفراتی در خاک و فروریزش خاک زیر کانال شده است. در نتیجه این فروریزش، بسته به ابعاد فضای خالی بوجود آمده، ترک‌هایی در پوشش بتنی کانال پدیدار شده و یا پوشش بتنی بطور کامل تخریب شده است.

جهت بررسی و حل این مشکل، در نقاط مختلفی در طول این کانال‌ها، حدود ۲۰۰ چاهک دستی حفاری شد و نمونه‌هایی جهت تعیین مقدار گچ موجود در خاک مورد آزمایش قرار گرفتند. این نمونه‌ها در فاصله‌ای از کانال، که بتوان اطمینان کافی داشت که انحلال تأثیر زیادی بر روی آن‌ها نداشته است، انتخاب شدند تا با مقایسه میزان گچ نمونه‌ها و شکستگی‌های لاینینگ کانال، هم ارتباط بین شکستگی‌ها و میزان گچ مشخص شود و هم مناطق محتمل برای تخریب کانال در آینده تعیین شوند. این آزمایش‌ها، مقادیر متفاوتی از گچ را در این خاک‌ها نشان دادند که در شکل(۳) نشان داده شده است..

برای بررسی دقیق‌تر علت شکستگی‌ها، تمامی آن‌ها بطور دقیق برداشت شده و با مقادیر گچ موجود در خاک مورد مقایسه قرار گرفتند. در شکل(۳) نتایج این مقایسه ارائه شده است.

[1] Soluble Soils

Archive of SID
www.SID.ir



شکل(۳): مقایسه میزان گچ موجود در خاک و موقعیت شکستگی‌ها در طول کانال اصلی مهیار

با بررسی شکل فوق و بازدیدهای صحرایی، نتایج زیر بدست آمد:

الف- مقدار گچ در طول مسیر از ۰/۱٪ تا ۳۸/۳۸٪ متغیر است.

ب- نتایج آزمایشات آزمایشگاهی و مشاهدات در محل تقریباً با هم همخوانی داشته است.

ج- شکستگی‌ها در محل‌هایی اتفاق افتاده‌اند که دارای مقدار گچ بالای ۱۰ درصد می‌باشند.

د- در محل‌های با درصد پایین‌تر گچ هیچگونه ترک یا شکستگی به چشم نمی‌خورد.

با توجه به آنکه در طول مسیر کانال در قسمت‌هایی که گچ کمی وجود دارد، هیچگونه عوارض ترک و یا شکستگی مشاهده نمی‌شود، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که عامل اصلی مشکلات بوجود آمده گچ موجود می‌باشد که در اثر تراوش آب از کانال دچار انحلال شده و منجر به نشست کانال و ترک‌خوردگی پوشش بتنی آن شده است.

با توجه به مطالعات انجام شده، مقدار گچ بالای ۱۰ درصد در خاک مقداری بحرانی می‌باشد و در کوتاه مدت نیز باعث نشست زمین می‌شود که این موضوع در کانال اصلی شبکه آبیاری مهیار به وضوح مشاهده می‌شود. اما انحلال گچ، پدیده‌ای زمانبر بوده و حل شدن و خارج شدن کامل آن از محیط، در مقادیر کم، و تخریب کانال‌های احداث شده بر روی آن‌ها، مستلزم گذشت زمان می‌باشد. با بررسی وضعیت بهره‌برداری کانال مهیار مشخص شد علیرغم عمر ۱۲ ساله این کانال، در اکثر مواقع، به دلایل مختلف، از آن بهره‌برداری نمی‌شده است. این موضوع نشان می‌دهد که در آینده با انحلال بخش بیشتری از مصالح زیر کانال، بوجود آمدن شکستگی‌های جدید در بخش‌هایی از کانال که مقدار گچ زیر ۱۰ درصد است، غیر محتمل نمی‌باشد.

جهت جلوگیری از خسارات ناشی از خاک‌های انحلال‌پذیر در صورتی که امکان تغیر مکان سازه‌ها وجود نداشته‌باشد، تعویض خاک مسیر کانال، شستشوی بلند مدت و آب‌بندی کانال‌ها می‌تواند مؤثر باشد (رحیمی، ۱۳۷۹).

در مسیر کانال مهیار، با توجه به ساخته شدن کانال، امکان تغییر مسیر کانال وجود نداشته و تعویض خاک زیر کانال فقط در بخش‌هایی که کانال تخریب شده است، ممکن بود. بدین لحاظ، در بخش‌هایی که کانال تخریب شده بود، روش تعویض خاک و در بخش‌هایی که مقدار گچ بالا بوده ولی هنوز شکستگی در کانال بوجود نیامده است، روش آب‌بند کردن کانال جهت جلوگیری از انحلال مصالح زیر کانال، مورد استفاده قرار گرفت.

خاک‌های رمبنده[1]

خاک‌های رمبنده، خاک‌های طبیعی نهشته شده به وسیله باد یا آب هستند که در برابر افزایش رطوبت و فشار حساس می‌باشند. دانسیته پایین و حجم فضای خالی بالا از مشخصات این خاک‌ها می‌باشد. فضای خالی بالا در این خاک‌ها ناشی از ساخت لانه زنبوری خاک می‌باشد. بدینصورت که ذرات خاک با تشکیل زنجیره‌هایی، قوس‌هایی کوچک را به وجود می‌آورند و بین این قوس‌ها فضای خالی زیادی به وجود می‌آید (بولزن، ۲۰۱۰). با اشباع شدن این خاک‌ها، حتی تحت بارهای کوچک این ساختار خاک در هم ریخته، تخلخل آن به شدت کاهش می‌یابد و نشست فوق‌العاده‌ای به طور ناگهانی در آن به وجود می‌آید. به هم ریختن ساختار خاک، بر اثر جذب آب، توسط از بین رفتن نیروهای بین مولکولی طی مکانیزم‌های متفاوتی نظیر نرم شدگی[2]، از بین رفتن نیروی جاذبه بین ذرات، حذف نیروی مکش بر اثر اشباع شدن یا فزونی تنش برشی نسبت به مقاومت و غیره است (ازم، ۲۰۰۰، لیوا و همکاران، ۲۰۰۳). در خاک‌های رمبنده خاک دچار نشست ناگهانی شده و به سازه‌های احداث شده بر روی آن خسارات قابل توجهی وارد می‌شود. این

[1] Collapsible
[2] Softening

Archive of SID
www.SID.ir

پدیده مختص خاک‌هایی است که دارای بافت متخلخل بوده و اتصال ذرات به همدیگر، ضعیف می‌باشد. از مهمترین این خاک‌ها لس‌ها و سیلت‌هایی که دارای بافت لانه زنبوری می‌باشند را می‌توان نام برد (یاکوف، ۲۰۰۷).

روش شناسایی خاک رمبنده

این پدیده در خاک‌های با دانه‌بندی خاص و در شرایط تراکمی معین حاصل می‌شود. روش تشخیص بر اساس بررسی دو عامل زیر است:

۱- ارزیابی دانه‌بندی خاک

۲- ارزیابی دانسیته درجای خاک

از نظر دانه‌بندی این خاک‌ها در رده‌های ماسه ریز، سیلت و رس‌های با پلاستیسیته پایین قرار می‌گیرند و دانه‌بندی خاک می‌تواند به تشخیص اولیه این خاک‌ها کمک کند. بیشترین پتانسیل رمبندگی را لس‌ها دارا می‌باشند. لس‌ها رسوبات بادی می‌باشند که از نظر اندازه دانه‌ها در حد سیلت می‌باشند و دانه‌بندی نسبتاً یکنواختی دارند (رحیمی، ۱۳۷۹).

از نظر دانسیته، به طور کلی دانسیته این خاک‌ها کم است (۱/۶ – ۱/۲ گرم بر سانتیمتر مکعب) و انجام آزمایش دانسیته صحرایی می‌تواند در تشخیص این خاک‌ها مورد استفاده قرار گیرد. همچنین حساسیت به افزایش رطوبت و فشار موجب می شود تا تشخیص آن‌ها در آزمایش‌هایی مثل تحکیم به سهولت صورت گیرد.

خاک‌های رمبنده در شرایط صحرایی، در اثر غرقاب شدن، نشست قابل ملاحظه‌ای را متحمل می‌شوند که این موضوع می‌تواند به شناسایی صحرایی این خاک‌ها کمک کند.

جهت تعیین میزان پتانسیل رمبندگی خاک‌ها در آزمایشگاه، از اندیس شاخص رمبندگی استفاده می‌شود (بل، ۲۰۰۰). این شاخص به صورت رابطه(۱) تعریف می‌شود.

$$Ic = {(H_1 - H_2)}/{H_1} \times 100 \qquad (۱)$$

که:

Ic: اندیس شاخص رمبندگی

H_1: ضخامت اولیه خاک (قبل از اشباع شدن)

و H_2: ضخامت نهایی خاک (بعد از اشباع شدن) می‌باشند.

جهت تعیین شاخص رمبندگی ابتدا بر روی نمونه بارگذاری می‌شود و مقدار بار به صورت تدریجی افزایش می‌یابد تا بار به حد تعیین شده برسد. سپس نمونه را تحت بار ثابت اشباع کرده تا نمونه دچار فروریزش شود (ASTM: D5333). دسته‌بندی این شاخص و شدت رمبندگی خاک در جدول(۲) آمده است.

جدول(۲): مقادیر شاخص رمبندگی و شدت مسائل آن‌ها (بل،۲۰۰۰)

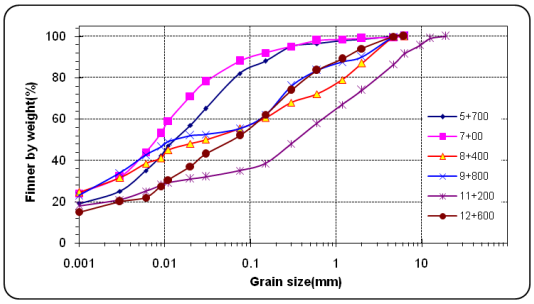
شاخص رمبندگی(٪)	شدت مشکل
۰ - ۱	بدون مشکل
۱ - ۵	متوسط
۵ - ۱۰	شدید
۱۰ - ۲۰	خیلی شدید
> ۲۰	فوق العاده شدید

ایجاد خسارت ناشی از رمبندگی در کانال‌های آبیاری معمولاً بر اثر جریان یافتن آب و اشباع شدن خاک بستر حادث شده و عموماً به صورت نشست بستر و ترک خوردگی بی‌نظم پوشش بتنی بروز می‌نماید. نشست ناگهانی و قابل توجه قطعاتی از پوشش کانال بویژه در کف و جابجایی قطعات پوشش در بستر به عنوان نمونه‌های امکان وجود این خاک در بستر تلقی می‌شود.

مسیر کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت جنوبی واقع در جنوب شرقی اصفهان در حد فاصل کیلومتر ۵ الی ۱۳ را خاک‌های ریز دانه تشکیل می‌دهند. ضخامت این رسوبات دانه ریز به طور متوسط ۲/۵ تا ۳ متر می‌باشد. جهت بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی این خاک‌ها در شش نقطه از مسیر، نمونه‌برداری شد و بر روی آن‌ها آزمایش‌های آزمایشگاهی مانند دانه‌بندی، درصد رطوبت، چگالی خشک و حدود آتربرگ انجام گردید. نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی بر روی این نمونه‌ها به صورت نمودار، در شکل(۴) مشاهده می‌شوند. سپس این خاک‌ها در سیستم متحده طبقه‌بندی شدند. در جدول(۳) مشخصات عمومی این خاک‌ها و گروه این خاک‌ها در طبقه‌بندی متحده نشان داده شده‌اند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل(۴): نمودار دانه بندی خاک‌های ریز دانه در طول مسیر شبکه آبیاری رودشت

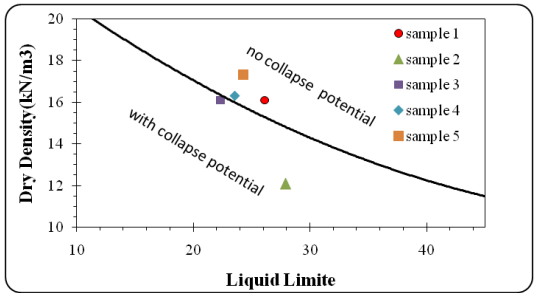
جدول(۳): مشخصات عمومی نمونه خاک‌های مسیر کانال شبکه آبیاری رودشت

نمونه	موقعیت (km)	عمق (متر)	نوع خاک	درصد رطوبت	جرم حجمی خشک(gr/cm^3)
۱	۵+۷۰۰	۱	CL	۲۱/۱۲	۱/۶۱
۲	۷+۰۰	۰/۸	CL	۱۴/۱۹	۱/۲۱
۳	۸+۴۰۰	۱	CL	۹/۱۵	۱/۶۱
۴	۹+۸۰۰	۱	CL	۹/۳۹	۱/۶۳
۵	۱۱+۲۰۰	۰/۸	SC	۷/۱۷	۱/۷۳
۶	۱۲+۶۰۰	۰/۷	CL	۱۴/۳۷	۱/۶۷

همانگونه که در جدول(۳) دیده می‌شود، یک نمونه از خاک‌ها در رده ماسه رس‌دار قرار دارد و بقیه نمونه‌ها رس با پلاستیسیته پایین می‌باشند. نتایج آزمایش‌های حدود آتربرگ نشان می‌دهد که تمامی خاک‌ها دارای حد روانی کمتر از ۵۰ بوده (۲۲ تا ۲۸) و در رده خاک‌های با پلاستیسیته پایین قرار می‌گیرند. نتایج این آزمایش‌ها در جدول(۴) آمده اند. در شکل(۵) نیز دانسیته خشک نمونه‌ها در برابر حد روانی آن‌ها ارائه شده است که برآوردی اولیه از پتانسیل رمبندگی را ارائه می‌دهد.

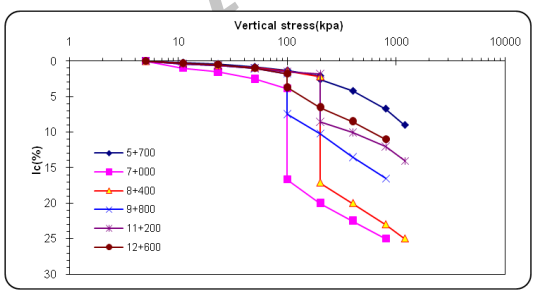
جدول(۴): حدود آتربرگ خاک‌های دانه ریز مسیر کانال شبکه آبیاری رودشت

شماره نمونه	حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیری
۱	۲۶/۱۶	۱۳/۷۳	۱۲/۴۳
۲	۲۷/۸۹	۱۶/۸۹	۱۱
۳	۲۲/۳۹	۱۱/۷۹	۱۰/۶۰
۴	۲۳/۵۸	۱۲/۲۳	۱۱/۳۵
۵	۲۴/۳۵	۱۲/۸۹	۱۱/۴۶



شکل(۵): نمودار دانسیته خشک در برابر حد روانی نمونه‌های مورد آزمایش (بل، ۲۰۰۰)

با توجه به بررسی‌های صحرایی و نیز شکل(۴)، احتمال رمبنده بودن این خاک وجود داشت. به همین دلیل بر روی نمونه‌های خاک، در آزمایشگاه، آزمایش رمبندگی مطابق توضیحاتی که ارائه شد، انجام گردید. که نتایج آن در شکل(۶) ارائه شده‌است. این آزمایش‌ها نشان دادند که خاک در بیشتر مسیر دارای پتانسیل رمبندگی متوسط به بالا می‌باشد. بدینصورت که در طول مسیر کانال، نمونه ۱، میزان پتانسیل رمبندگی کم، نمونه‌های ۲ و ۳ رمبندگی خیلی شدید، نمونه ۴ و ۵ دارای رمبندگی شدید و نمونه ۶، رمبندگی متوسط را دارا می‌باشند. این نتایج و توصیف مشکل آن‌ها در جدول(۵) ارائه شده‌اند. همانگونه که مشاهده می‌شود، شاخص رمبندگی در طول کانال از حدود ۰/۵ تا ۱۵ تغییر می‌کند.



شکل(۶): نتایج آزمایش رمبندگی بر روی نمونه‌های مختلف شبکه آبیاری رودشت

Archive of SID
www.SID.ir

جدول(۵): نتایج آزمایش رمبندگی بر روی نمونه‌های خاک شبکه آبیاری رودشت

شماره نمونه	شاخص رمبندگی(٪)	رمبندگی
۱	۰/۴۹۸	بدون مشکل
۲	۱۲/۸۱۶	خیلی شدید
۳	۱۴/۹۶۰	خیلی شدید
۴	۵/۶۹۵	شدید
۵	۶/۷۴۰	شدید
۶	۱/۹۳۱	متوسط

جهت اصلاح خاک‌های رمبنده از روش‌هایی مانند مرطوب سازی و تراکم برای خاک‌هایی با ضخامت تا ۱/۵ متر، گودبرداری و تراکم مجدد (با یا بدون تثبیت توسط مواد افزودنی)، تزریق آهک و غرقاب سازی (ترجیحاً به همراه بارگذاری) برای خاک‌هایی با ضخامت ۱/۵ تا ۱۰ متر و ترکیبی از این روش‌ها برای خاک‌های با ضخامت بیش از ۱۰ متر می‌توان استفاده کرد (بل، ۲۰۰۰).

پس از مشخص شدن رمبنده بودن خاک‌های مسیر کانال، روش‌های مختلف اصلاح این خاک‌ها بررسی شد و در نهایت با توجه شرایط خاک و ضخامت آن، روش غرقاب کردن و بارگذاری انتخاب شد. با توجه به کمبود آب در منطقه، پیشنهاد شد که ابتدا کانال بدون لاینینگ ساخته شده و مدتی از آن بهره‌برداری گردد. با این کار خاک اشباع شده و با توجه به باری که از ساخته شدن خاکریز کانال بر خاک زیر اعمال می‌شود، مناطق مستعد فروریزش، تغییر شکل خواهند داد. آنگاه پس از یک دوره بهره‌برداری از کانال لاینینگ کانال احداث خواهد شد.

نتایج

در طبیعت خاک‌های مسأله دار زیادی وجود دارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به خاک‌های متورم شونده، واگرا، قابل انحلال و رمبنده اشاره کرد.

خاک‌های متورم شونده، معمول‌ترین خاک‌های مسأله‌داری هستند که در مطالعات ژئوتکنیک مرتبط با شبکه‌های آبیاری با آن‌ها برخورد می‌شود. این مشکل معمولاً در خاک‌های با پلاستیسیته بالا اتفاق می‌افتد. تا زمانی‌که فشار ناشی از تورم در این خاک‌ها از فشار سازه کمتر باشد، این خاک‌ها مشکلی برای سازه بوجود نمی‌آورند و در فشارهای تورمی بالاتر از فشار سازه، باعث برخاستگی[1] و شکستن سازه‌ها می‌شوند. مطالعات انجام شده در شبکه آبیاری سورک نشان از خاصیت تورمی خاک‌های مسیر کانال اصلی دارند که فشار تورمی آن‌ها حداکثر تا ۰/۳۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع اندازه‌گیری شده است. همین مقدار از تورم می‌تواند باعث شکستن پوشش بتنی کانال شده و به تخریب آن منجر شود. با توجه به مقدار فشار تورمی در بخش‌های مختلف، تعویض خاک و اصلاح آن با مواد افزودنی نظیر آهک و سیمان، به پایداری کانال کمک خواهد کرد.

پدیده واگرایی در خاک‌های رسی با مقدار بالای مونتموریلونیت سدیم دار اتفاق می‌افتد. جهت بوجود آمدن عوارض ناشی از پدیده واگرایی وجود فشار آب بر روی خاک جهت خارج کردن ذرات خاک از محیط لازم است. این وضعیت در کانال‌های آبیاری کمتر بوجود آمده و مشکلات ناشی از واگرایی در کانال‌ها بندرت اتفاق می‌افتد.

وجود درصد بالای کانی‌های انحلال‌پذیر مانند گچ، باعث بوجود آمدن حفرات انحلالی در داخل خاک شده و بر اثر بارهای وارده این خاک‌ها نشست می‌کنند. با توجه به مطالعات کانال آبیاری مهیار، درصورتیکه میزان مواد انحلال‌پذیر در خاک از ۱۰ درصد فراتر رود، در مدت زمان کوتاهی نشست انجام شده و شکستگی در کانال‌ها پدیدار می‌شود. در کانال‌های فرعی دشت مهیار تخریب کامل کانال بعد از ۳ سال نیز گزارش شده است. در بخش‌هایی که مقدار گچ زیر ۱۰ درصد است، بوجود آمدن خرابی نیاز به زمان بیشتری دارد و شدت خرابی‌ها نیز پایین است.

خاک‌های رمبنده طبق رده‌بندی یونیفاید در رده سیلت و رس‌های با پلاستیسیته پایین قرار می‌گیرند. از بین این خاک‌ها لس‌ها دارای پتانسیل بالای فروریزش می‌باشند. این خاک‌ها اغلب در نواحی خشک و نیمه‌خشک یافت می‌شوند.

خاک‌های رمبنده دارای دانسیته خشک پایین و فضای خالی بالا می‌باشند. دانسیته خشک این خاک‌ها بین ۱/۲ تا ۱/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب تغییر می‌کند. بدین دلیل تعیین خصوصیات فیزیکی خاک‌ها مانند دانسیته خشک و حدود آتربرگ آن‌ها می‌تواند در شناخت اولیه خاک‌های رمبنده مفید باشد. در کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت جنوبی، در حدفاصل کیلومتر ۵ تا ۱۳ خاک‌های دانه ریزی

[1] Uplift

Archive of SID
www.SID.ir

وجود دارند که در بررسی‌های صحرایی و آزمایش‌های اولیه مشکوک به رمبندگی بودند. آزمایش‌های رمبندگی بر روی این خاک‌ها درجه رمبندگی پایین تا شدید را در این خاک‌ها نشان داد.

در شبکه آبیاری رودشت با توجه به ضخامت این خاک‌ها و بررسی‌های فنی و اقتصادی، روش بارگذاری و غرقاب کردن این خاک‌ها جهت اصلاح آنها برگزیده شد.

تقدیر و تشکر

در پایان مؤلفین بر خود لازم می‌دانند که از شرکت مهندسین مشاور زایندآب، به جهت همکاری در به ثمر نشستن این تحقیق تشکر نمایند.

منابع

۱. رحیمی، ح. ۱۳۷۹. مسائل احداث کانال‌های آبیاری در خاک‌های نامتعارف. کمیته ملی آبیاری وزهکشی ایران. مجموعه مقالات کارگاه فنی: ساخت کانال‌های آبیاری، محدودیت‌ها و راه حل ها. نشریه شماره ۳۹، ص ۱۲۸-۱۶۴.
۲. عسکری، ف. و ع. فاخر. ۱۳۷۲. تورم و واگرایی خاک‌ها. جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران. ۲۴۵ ص.
۳. رضائی، م. و ر. اجل لوئیان. ۱۳۸۷. بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های مسأله‌دار جهت احداث کانال بر روی آنها- مطالعه موردی شبکه آبیاری رودشت جنوبی. مجموعه مقالات اولین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه های آبیاری و زهکشی، ص ۱۱۹-۱۲۹.
۴. صفویان، م. و م. رضائی. ۱۳۸۹. بررسی مشکلات احداث کانال بر روی خاک‌های گچ دار- مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت مهیار. مجموعه مقالات دومین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ص ۲۳۵-۲۴۶.
5. Briscolland, R.; R. chown. 2001. Problem soils: A review from a British perspective. In: proceeding of problematic soils conference. Proc prob soils conf: 53-66.
6. Bell, F.G.; M.G.Culshaw. 2001. Problem soils: A review from a British perspective. In: Proceeding of problematic soils conference. Proc prob soils conf: 1-37.
7. Yenes, M.; J. Nespereira; J. A. Blanco; M. Suarez; S. Monterrubio; C. Iglesias. 2010. Shallow foundations on expansive soils: a case study of the El Viso Geotechnical Unit, Salamanca, Spain. Bull Eng Geol Environ, online first.
8. Ozer, M.; R. Ulusay; N. S. Isik. 2011. Evaluation of damage to light structures erected on a fill material rich in expansive soil. Bull Eng Geol Environ, online first.
9. Umesh, T.S.; S. V. Dinesh; P. V. Sivapullaiah. 2011. Characterization of Dispersive Soils. Materials Sciences and Applications, 2: 629-633
10. Bolzon, G. 2010. Collapse mechanisms at the foundation interface of geometrically similar concrete gravity dams. Engineering Structures, 32: 1304-1311.
11. Liua, S.H.; D.A. Sun; Y. Wang. 2003. Numerical study of soil collapses behavior by discrete element modeling. Computers and Geotechnics, 30: 399-408.
12. Azam, S. 2000. Collapse and compressibility behavior of arid calcareous soil formations. Bull Eng Geol Env, 59: 211-217.
13. Yakov, M.R. 2007. Influence of physical properties on deformation characteristics of collapsible soils. Engineering Geology, 92: 27-37.
14. ASTM: D5333. Measurement of collapse potential.
15. McCarthy, D.F. 2006. Essential of soil mechanics and foundations. Prenticle Hall.
16. Hunt, R.E. 2007. Characteristics of geologic materials and formations (A field guide for geotechnical engineers). Taylor & Francis.
17. Bell, F.G. 2000. Engineering properties of soils and rocks. Blackwell Science.
18. Sherard, J.L.; L.P. Dunnigan; K.S. Decher. 1976. Identification and Nature of Dispersive Soils. Journal of Geotechnical Engineering, 102- GT1: 287-301.

Archive of SID

www.SID.ir

Geotechnical Issues of Problem Soils (Swelling, Dispersive, Soluble and Collapsible) in Irrigation Channel Construction
Geotechnical Problems of Problem Soils to Irrigation Channel Construction

Mohsen Rezaei [1]، Mohammad Ghfoori[2] , Rasoul Ajalloeian[3] , Meysam Safavian[4]

Abstract

Water transmission Channels in irrigation networks usually constructed on soils. Geotechnical properties of the soils must be evaluated exactly in channel routs. Fine grain soils that may be swelling, dispersion, collapsible and soluble, can make most problems for channels. If the soil has been a swelling function, its volume will be increase during wetting and it cause to raise and break the channel concrete lining. While the soils have dispersion and collapse properties or contain some soluble materials, its structure will be changed and settled. Then, the channel will be destroyed.

This paper evaluate the geotechnical properties of south Roudasht and Mahyar irrigation channels in Isfahan province and Soork irrigation channel in Chaharmahal va Bakhtyari province. As encounter to soluble, dispersive and collapsible soils, we present suitable treatments such as soil exchange, flooding with loading and channels waterproofing.

Keywords: Solution, Swelling, Problem Soils, Collapsibility, Geotechnic, Dispersi

Archive of SID

[1] - Engineering Geology PhD Student, Ferdowsi University, Mashhad, Rezaei.eng@stu-mail.um.ac.ir
[2] - Professor of Ferdowsi University, Mashhad, Ghafoori@um.ac.ir
[3] - Assistant Professor of Isfahan University, Isfahan, Ajalloeian@gmail.com
[4] - Ms of Geotechnic, Zayandab Consulting Engineers Co., Isfahan, Safavian.eng@gmail.com

www.SID.ir