



دوین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت تأسیسات آبی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی

۱۳۸۶ آبان ماه - دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی آب و خاک، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

2nd Iranian Conference on Construction experiences of Hydraulic structures and Irrigation and Drainage networks (ICCHID)

23 - 25 October 2007 - Tehran University, Irrigation and Reclamation Dept.

تورم خاک بستر کانال‌های آبیاری طرح آجی چای و ارائه راه کارهای اصلاحی

مسعود حاجی علیلو

استادیار گروه ژئوتکنیک دانشگاه تبریز و مشاور ژئوتکنیک مهندسی مشاور یکم،
hajjalilue@tabrizu.ac.ir

ابراهیم سمون

کارشناس ژئوتکنیک، مدیر بخش جنوب پاکستان شرکت ACE

محمد چشم دوست

کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی، مهندسی مشاور یکم

چکیده

هر ساله تعداد بسیار زیادی از سازه‌های جدید بر روی خاک‌های متورم شونده ساخته می‌شود. عموماً بالغ بر ۶۰ درصد از این سازه‌ها متحمل خسارات جزئی از قبیل ترک و حدود ۱۰ درصد از این سازه‌ها به شدت آسیب می‌بینند که دیگر قابل تعمیر نیستند. رفتارهای مختلف خاک بستر کانال‌ها که به عنوان سازه سبک تلقی می‌گردد، از جمله تورم، واگرایی و نشست، مشکلات گوناگونی را ایجاد می‌کنند. لایه‌های سطحی دشت تبریز عموماً متشکل از ریزدانه‌ها و اکثراً رسی می‌باشند. مطالعات مکانیک خاک نشان می‌دهد که تغییرات پتانسیل تورم در این منطقه نسبتاً گسترده می‌باشد. به این معنی که پتانسیل تورم از مقادیر ناچیز تا زیاد تغییر می‌کند. بعضی از قسمت‌های کانال اصلی آجی چای، متحمل ترک‌ها و بالا آمدگی‌هایی شد که بعد از بررسی و آزمایش‌های لازم، این مشکلات به بحث تورم خاک نسبت داده شد. در این مقاله، به بررسی کامل این مشکل پرداخته شده است. آزمایش‌های انجام یافته مورد تحلیل قرار گرفته و پیشنهادات ارائه شده برای جلوگیری و تقلیل اثر این پدیده، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: تورم، فشار تورمی، فیلتر، کانال‌های انتقال آب.

مقدمه

منظور از تورم خاک، تورم در اثر جذب آب می‌باشد. این تورم در اثر بارندگی، عبور آب از کانال‌ها، بالا آمدن سطح سفره زیرزمینی و جذب این آب به وسیله خاک و یا ناشی از آبیاری زمین‌های کشاورزی ایجاد می‌گردد. تورم ناشی از یخبندان، تورم ناشی از کاهش تنش موثر مثل باربرداری و یا کاهش تنش موثر در اثر بالا آمدن سطح

آب زیرزمینی فعلاً موضوع اصلی این مقاله نیست. خاک‌های متورم شونده خاک‌هایی هستند که در اثر افزایش رطوبت افزایش حجم می‌دهند. خسارت ناشی از خاک‌های متورم شونده بیشتر از هر پدیده طبیعی از جمله زلزله بوده است (۴). با این حال اطلاعات علمی در زمینه درک پدیده تورم و اندرکنش خاک و سازه بسیار محدود می‌باشد. لایه‌های سطحی دشت تبریز عموماً متشکل از ریزدانه‌ها و اکثراً رسی می‌باشد. مطالعات مکانیک خاک نشان می‌دهد که خاک دشت تبریز دارای پتانسیل تورم می‌باشد. بعضی از قسمت‌های کانال اصلی آبی چای، متحمل ترک و بالا آمدگی شد که بعد از بررسی و آزمایش‌های لازم، این مشکلات به بحث تورم خاک نسبت داده شد. در این مقاله، ابتدا به تشریح مکانیزم تورم پرداخته شده و سپس مشکلات پدید آمده بررسی شده و نهایتاً راهکارهایی به منظور کنترل و مهار تورم ارائه گردیده است.

تورم، علل و رفتار

محققان زیادی، تورم را ناشی از نیروهای جاذبه و دافعه فیزیکی و فیزیکو شیمیایی بین کانی‌های رس می‌دانند. در یک رس کاملاً خشک، کاتیون‌ها بشدت جذب سطحی رویه‌های آن می‌گردند و مازاد کاتیون‌هایی که برای خنثی کردن بارالکتریکی رس موجود است، به صورت نهشته‌های املاح یافت می‌شوند. حال اگر آب به این رس برسد، املاح کاتیونی در آب حل شده و این کاتیون‌ها تمایل دارند از سطح رس دور شوند. زیرا سطح رس قبلاً به وسیله کاتیون‌هایی که بار منفی رس را خنثی کرده اند، پوشیده شده است. از طرف دیگر، کاتیون‌های چسبیده به سطح ذرات رس هم می‌خواهند به تبعیت از قوانین اسمزی از سطح دور شده و غلظت کاتیونی یکنواختی را در اطراف ذره رسی پدید آورند. این پدیده باعث دور شدن ذرات رس از یکدیگر شده و آب جذب شده حجم کلی خاک را افزایش می‌دهد. ضمن این که درصد کانی‌های رس نقش مهمی را در مقدار تورم ایفا می‌کند، پتانسیل تورم کانی‌های رس بستگی به ساختمان توده رس، ساختمان شبکه بلوری و ظرفیت تبادل کاتیون هم دارد. هر چه قرارگیری ذرات خاک متراکم تر باشد، پتانسیل تورم آن نیز بیشتر است. این تذکر لازم است که حتی در یک منطقه محدود که خاک منشاء زمین شناسی یکسانی دارد، به سبب تفاوت در روند هوازدگی و خاک زایی که بارزترین نشانه آن دانه بندی متفاوت خاکها است، خصوصیات تورمی خاک در آن منطقه محدود تغییر می‌کند.

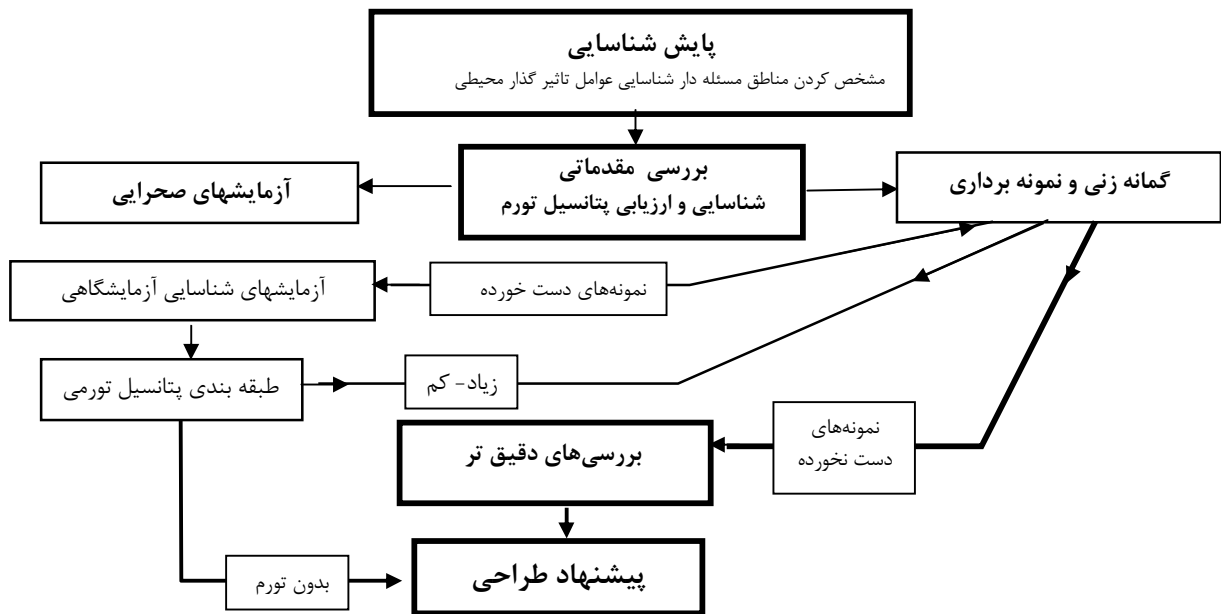
ارزیابی تورم و روش‌های بهبود

پتانسیل تورم خاک با استفاده از روش‌های مستقیم و غیر مستقیم قابل ارزیابی است. ارزیابی مستقیم پتانسیل تورم به معنی اندازه گیری فشار تورمی و درصد تورم خاک است. روش‌های غیر مستقیم شامل روابط و جداولی که پتانسیل تورم را به برخی از مشخصات خاک نسبت می‌دهند، است. مهمترین پارامترهای تاثیر گذار شامل درصد رس خاک^۱، فعالیت خاک^۲، مشخصات خمیری از جمله حد خمیری، حد روانی و شاخص خمیری خاک است.

طبقه بندی‌های مختلفی توسط (Altmeyer 1955)، (Holtz and Gibbs 1956)، (Seed 1962)، (Raman 1967) و (Chen 1988) پیشنهاد شده است که مقادیر بسیار متفاوتی برای پتانسیل تورم بدست می‌دهند. علت اصلی این تفاوت‌ها، آزمایش روی خاک‌های مناطق مختلف و همچنین شرایط آزمایش می‌باشد. برای مقابله با این پدیده، اولین قدم شناسایی خاک منطقه مورد نظر و سپس شناسایی عوامل محیطی و چگونگی تغییر رطوبت در خاک می‌باشد. سه مرحله مهم بررسی‌ها شامل ۱- پایش اولیه یعنی مشخص کردن مناطق مسئله دار و شناسایی عوامل تاثیر گذار محیطی، ۲- بررسی‌های مقدماتی که شامل آزمایش‌های صحرایی و آزمایش‌های اولیه آزمایشگاهی می‌باشد و ۳- نهایتاً بررسی‌های عمیق و جزئی تر، همان گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است.

¹ Clay Fraction

² Activity



شکل (۱): فلوچارت بررسی‌های مربوط به تورم

شش روش زیر به منظور جلوگیری از تورم می‌تواند مطرح باشد:

- ۱- جلوگیری از تغییر رطوبت خاک و به طبع آن ایجاد تورم و یا نشست: استفاده از ژئوممبرین‌ها، پیش مرطوب کردن خاک ۱ و یا استفاده از برخی مواد آلی که می‌توانند خاک متورم شونده را با آب بند کردن یا تعویق انداختن جذب آب عمل تورم را مختل کنند.
- ۲- جایگزینی خاک متورم شونده با یک خاک یا مصالح بهتر: تورم خاک و حساسیت سازه روی آن طوری است که کمترین تورم ایجاد اشکال نموده و بنابراین با جایگزینی خاک متورم شونده با خاک بدون مشکل مسئله تورم تقریباً حل می‌گردد.
- ۳- تثبیت یا اصلاح خاک با استفاده از مواد و روش‌های مخصوص: مهمترین ماده تثبیت کننده آهک می‌باشد. آهک به صورت سوسپانسیون در آب به خاک افزوده شده و کوبیده می‌شود. یون قوی کلسیم در آهک با یونی در سطح رس مثل سدیم یا پتاسیم تبادل یافته و ظرفیت تبادل یونی کم می‌شود. همچنین ضمن تثبیت بافت خاک به بافت پراکنده تغییر می‌یابد. اختلاط با آهک تا عمق یک متری قابل اجرا است ولی معمولاً به عمق ۲۰-۱۵ سانتی متری محدود می‌شود. البته با تزریق این عمق قابل افزایش است. سیمان نیز جزو مصالح تثبیت کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد و این اعتقاد وجود دارد که تبادل یونی و واکنش‌های سیمانی شدن مشابه مخلوط خاک و آهک می‌باشد.
- ۴- ایجاد فشار لازم به وسیله سازه که بیشتر از فشار تورمی خاک می‌باشد: با ایجاد یک سربار که یا توسط سازه تامین می‌شود و یا با خاکریزی امکان تورم از خاک گرفته می‌شود.
- ۵- طراحی سازه و نحوه اتصال آن به خاک طوری که تورم خاک موجب از دست دادن کارایی سازه نگردد: اجزاء سازه طوری طراحی و یا اجرا می‌گردند که تغییر شکل خاک در اثر تورم به سازه آسیب جدی وارد

¹ pre-wetting

نکند و یا بین سازه و خاک یک ماده تغییرشکل پذیر قرار داده می شود که فشار را یکنواخت به سازه وارد کند.

۶- قرار دادن یک لایه دارای فضاهای خالی که اگر خاک تورم کند، به این فضاها منتقل شده و فشار تورمی مستهلک گردد.

مشخصات اصلی طرح

شبکه آبیاری و زهکشی دشت تبریز در شش ناحیه عمرانی و در سطح ۴۰۰۰۰ هکتار در حال اجرا می باشد. عملیات قسمتی از این پروژه که در دست اجرا می باشد، شامل کانال اصلی AMC و شبکه AMC شامل کانالهای درجه ۲ و ۳ و زهکشهای اصلی کانال اصلی AMC که حدوداً ۱۵۸۵۰ هکتار از اراضی دشت تبریز را در بر می گیرد و در ساحل راست رودخانه آچی جای قرار دارد، است. کانال LMC که حدود ۴۰۰۰ هکتار از اراضی دشت تبریز را در بر می گیرد و در ساحل چپ رودخانه آچی جای قرار دارد. بند انحرافی از نوع دریچه دار با هشت عدد دریچه قطاعی و تاسیسات وابسته و کانال انتقال می باشد.

کانال اصلی AMC به منظور انتقال آب به میزان ۲۲ متر مکعب در ثانیه طراحی شده است. عرض کف کانال بین ۵ تا ۲/۵ متر و ارتفاع آن بین ۲/۷۵ تا ۲ متر متغیر می باشد. دیوارهای کانال دارای شیب ۱ (عمودی) به ۱/۵ افقی می باشد. در طراحی اولیه کانال AMC که تا کیلومتر حدود ۱۲ اجرا شده است، یک لایه بتن غیر مسلح درجا به ضخامت ۱۲۵ میلی متر (با عیار سیمان ۳۰۰ کیلوگرم)، عرض پانلهای بتنی اجرا شده در طول کانال ۳ متر می باشد. کانال دارای چهار سری درز اجرایی می باشد: یک درز در طول در وسط بتن کف و یک درز در عرض در هر ۳ متر طول کانال. حد فاصل بین درزهای اجرایی عرضی قیر اندود شده اند. بر روی این لایه نیز یک لایه شفته سیمان به عیار حدود ۵۰ تا ۸۰ کیلوگرم در متر مکعب و ضخامت ۲۰ سانتی متر در کف و دیوارها اجرا شده است.

ژئوتکنیک منطقه و پتانسیل تورم

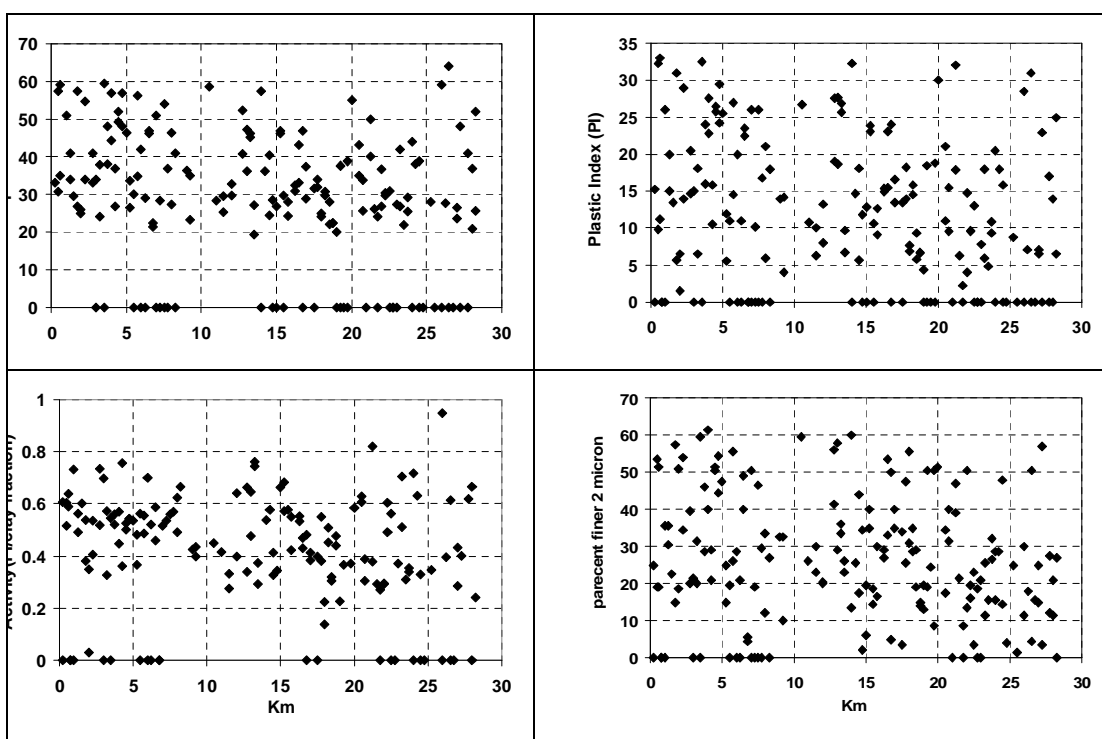
خاکهای سطحی دشت تبریز عمدتاً ریزدانه می باشند که شامل سیلت و رس است. آزمایش کانی شناسی که روی سه نمونه از سه نقطه مختلف برداشته شد به صورت کیفی میزان هر کدام از کانیها را به صورت جدول (۱) نشان داده شده است. مشاهده می شود که میزان کانیهای اصلی رس در جاهای مختلف متغیر می باشد، ولی در دو مورد از سه مورد میزان مونت موریلونیت و ایلیت که پتانسیل تورمی خاک را زیاد می کنند، بیشتر از سایر کانیهاست.

جدول (۱): میزان کیفی کانیهای مختلف رس در خاک بستر کانال AMC

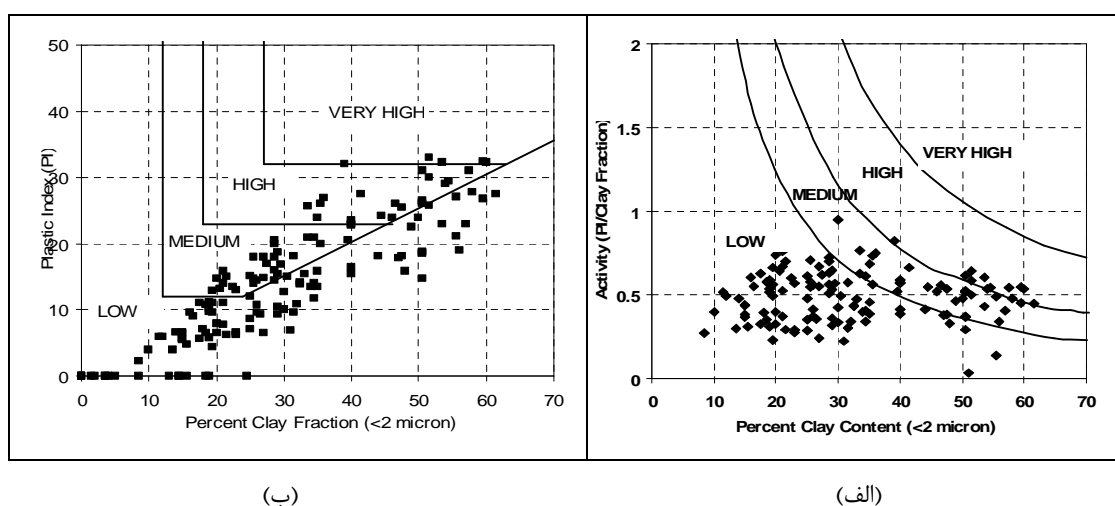
محل (km)	میزان هر کدام از کانیها بترتیب از بیشترین به کمترین
۱۴+۲۵۰	۱- کلوریت ۲- ایلیت ۳- مونت موریلونیت ۴- کائولینیت (کم)
۲۳+۲۵۰	۱- مونت موریلونیت ۲- کلوریت ۳- ایلیت ۴- کائولینیت (کم)
۲۷+۷۵۰	۱- ایلیت ۲- کلریت ۳- مونت موریلونیت

آزمایشهای حدود اتربرگ و دانه بندی روی نمونههای اخذ شده از ۱۶ کیلومتر در طول کانال و هر ۲۵۰ متر در شکل (۲) نشان داده شده است. این نمونهها مربوط به عمق کف کانال می باشد. این نتایج نشان می دهد که اندیس خمیرس خاک بین صفر و ۳۳ تغییر می کند. این تغییرات یک آهنگ مشخصی نسبت به طول نداشته و در

فاصله‌های کم نیز تغییرات زیادی مشاهده می‌شود. میزان فعالیت رس در نقاط مختلف نیز روند مشخصی نداشته و تغییرات آن از صفر تا ۱ گسترده است. اگر از نمودار **Seed 1962** که میزان پتانسیل تورم را بر حسب درصد ذرات هم اندازه با رس و فعالیت رس نشان می‌دهد، استفاده شود (شکل ۳ الف)، مشاهده می‌شود که پتانسیل تورم در محدوده تورم کم تا متوسط قرار می‌گیرد. البته تعدادی از نمونه‌ها هم در محدوده پتانسیل تورم بالا قرار گرفته‌اند. نتیجه‌ای که می‌توان گرفت این است که پدیده تورم باید در طراحی سازه‌ها و مخصوصاً سازه‌های سبک در این منطقه مد نظر قرار گیرد.



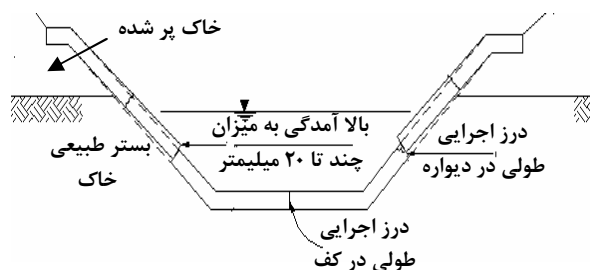
شکل (۲): تغییرات حد روانی، اندیس خمیری، فعالیت و درصد ذرات هم اندازه بارس در طول کانال AMC



شکل (۳): ارزیابی پتانسیل تورم خاک در مسیر کانال AMC بر اساس الف) نمودار Seed 1962 و ب) Van der Merwe

مشکلات بوجود آمده

در اثر باران‌های فصلی و جاری شدن سیل در رودخانه آجی چای، بعضی از نه‌رهای سنتی دچار آب گرفتگی شدند. این آب گرفتگی باعث ریزش آب به داخل کانال در بعضی از قسمت‌ها گردید و آب گرفتگی این قسمت از کانال تا ارتفاع حدود ۱/۲ متر شد. پس از تخلیه آب، ترک‌های پراکنده روی پوشش بتنی سطوح شیب دار همچنین بالازدگی در محل درز اجرایی همین قسمت شیب دار مشاهده گردید. در کف کانال هیچ گونه اثری از ترک خوردگی و بالا زدگی مشاهده نگردید. در بعضی از قسمت‌ها هیچ وقت آب داخل کانال جمع نشده است ولی بالا زدگی‌هایی در درزهای دیواره کانال ایجاد گردیده است (شکل ۴).



شکل (۴): تصاویری از محل‌های آسیب دیده و شکل شماتیک بالازدگی پوشش

منشاءهای احتمالی مشکلات

با توجه به کلیه شواهد و بررسی‌های انجام گرفته، واضح است که حرکت و جابجایی در قسمت‌های سطوح شیب دار کانال و به سمت داخل روی داده است. این حرکت و جابجایی‌ها در قسمت پایین تر سطوح شیب دار کانال بوده و در قسمت‌های فوقانی کانال کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد وجود پانل‌های قسمت شیب دار که وزن آنها به صورت بارهای تکیه گاهی بر روی پلاک‌های بتنی بستر کانال وارد می‌شود، از حرکت آن‌ها جلوگیری کرده است. در بعضی از قسمت‌ها، ترک‌هایی در سطوح شیب دار کانال و در اثر وجود فشار در قسمت پایین تر آنها ایجاد شده است. منابع احتمالی این فشار یکی یا ترکیبی از عوامل زیر است:

- تورم رس خاکریز بدنه کانال در نتیجه نفوذ آب از طریق درزهای اجرایی پوشش بتنی، یا در اثر بارندگی و نفوذ آب به خاک.
- بوجود آمدن فشار آب در پشت پوشش بتنی و اعمال آن به سمت داخل کانال، در زمانی که آب داخل کانال در قسمت‌هایی که دچار آب گرفتگی شده، تخلیه گردیده است.
- اختلاف تغییر شکل بوجود آمده در بدنه خاکی کانال در نتیجه اختلاف مشخصه‌های قسمت خاکریز کانال و زمین طبیعی اولیه.

بررسی تورم خاک

مشکلات بوجود آمده در طرح اولیه که شامل یک لایه شفته زیر پوشش بتنی زیر کانال بود، می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد. اما اصلی‌ترین این پدیده‌ها که شامل تورم^۱ می‌باشد، محتمل‌ترین و مهمترین مسئله تشخیص داده شد. برای تعیین پتانسیل تورمی، چند نمونه دست نخورده خاک از قسمت‌هایی که مورد آسیب قرار گرفته بود، برداشته شد و آزمایش‌های مختلف بر روی آن‌ها انجام گرفت. مشخصات خمیری این خاک در جدول (۲) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که دامنه خمیری این خاک ۱۹ می‌باشد. طبق برخی از طبقه‌بندی‌ها، این خاک جزو خاک‌های با تورم متوسط قرار می‌گیرد.

برای تعیین فشار تورمی، ابتدا نمونه‌ای دست نخورده‌ای از این خاک تهیه و چون درصد رطوبت طبیعی خاک بالا بود، ابتدا نمونه به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد قرار داده شد تا کمی از رطوبت خود را از دست بدهد. علت این کار به وضعیت اجرای کانال بر می‌گردد که معمولاً پوشش بتنی بعد از چند روز انجام می‌گردد و در این فاصله زمانی سطح خاک بستر مقداری از رطوبت خود را از دست می‌دهد. نتیجه این آزمایش، تورمی برابر ۴/۵ درصد بعد از ۴۸ ساعت را نشان می‌دهد. با افزایش بارگذاری فشار تورمی برابر ۴۰ کیلوپاسکال بدست آمده است. این فشار تورمی با این که برای سازه‌های سنگین خیلی زیاد نمی‌باشد، ولی برای سازه‌های سبک مثل پوشش بتنی می‌تواند مخرب باشد.

جدول (۲): مشخصات خمیری خاک کانال مشکل دار

دامنه خمیری	حد روانی	حد خمیری	حد انقباض	درصد رطوبت
PI=19	LL=47	PL=28	SL=11	w=24%

پیشنهاد استفاده از یک لایه فیلتر

با جمع بندی نظرات مختلف، استفاده از یک لایه فیلتر ۳۰ سانتی متری به همراه یک لایه بتن مگر که صرفاً به دلیل سهولت اجرای پوشش بتنی مطرح گردید، به عنوان یک راه کار به منظور جلوگیری و یا کاهش اثرات پدیده‌های مختلف پیشنهاد گردید. برای روشن شدن هر چه بیشتر مسئله تاثیر اجرای لایه فیلتر روی هریک از موارد مذکور مختصراً شرح داده شده است.

مهمترین نقش فیلتر زهکشی فشار بوجود آمده در پشت پوشش کانال و به طبع آن جلوگیری از uplift پوشش بتنی می‌باشد. این فیلتر در مواردی که سطح آب زیرزمینی بالاست، سطح این آب را در مقطع کانال پایین نگه داشته و آب اضافی را از طریق شیرهای یک طرفه (بارباکان) به داخل کانال هدایت می‌کند. هدف اصلی از اجرای فیلتر عمدتاً این مسئله بوده و عملکرد فیلتر روی پدیده‌های دیگر فرعی می‌باشد. لایه فیلتر روی تورم اثر مستقیم

¹ Swelling

ندارد، بلکه مشخصات ماده استفاده شده در فیلتر، موجب کاهش اثرات تورم به شرحی که داده خواهد شد، می گردد. با توجه به این که فیلتر از مواد دانه ای تشکیل یافته است، فشارهای موضعی خاک بستر را می تواند به شکل یکنواخت تری به پوشش بتنی منتقل کند و جابجایی های غیر یکسان پانل های مجاور را کاهش دهد. بنابراین با این که این لایه جلوی تورم را کاملاً نمی گیرد، ولی اثر پدیده تورم روی پوشش بتنی را تقلیل می دهد و کاربری پوشش بتنی را تا حدودی حفظ می کند. به نظر نگارنده این مهمترین اثر لایه فیلتر در مقابل تورم می باشد.

مسئله دوم وزن این لایه فیلتر می باشد. این لایه فیلتر فشاری معادل 5 کیلوپاسکال در راستای قائم ایجاد می کند (در جهت عمود بر سطح دیواره کانال حدود 5 kPa کیلوپاسکال). این فشار با این که در مقابل فشار تورمی زیاد نیست، ولی بسته به پتانسیل تورم می تواند قسمتی از فشار تورمی را جبران نماید. مسئله بعدی محیط متخلخل لایه فیلتر می باشد که هر چند بسیار ناچیز ولی قسمتی جزئی از تورم خاک به داخل محیط متخلخل فیلتر وارد می شود.

به عنوان نتیجه گیری از بحث انجام یافته، باید به این نقطه توجه نمود که هدف اصلی فیلتر جلوگیری از تورم نیست، بلکه زهکشی فشار پشت پوشش کانال می باشد. ولی این فیلتر عملکرد مثبتی در مقابل تورم نیز دارد و کمی از اثرات مخرب تورم را تسکین می دهد. البته باید همچنین توجه نمود که این عملکرد مثبت برای میزان تورم کم تا متوسط می تواند به طور محسوس موثر باشد والا، برای پتانسیل های تورم بالا و خاکی که رطوبت خود را از دست داده است، نمی تواند جلوی تخریب سازه های سبک را بگیرد.

کنترل عملکرد لایه فیلتر

برای بررسی عملکرد فیلتر در مقابل تورم خاک، یک قسمت ۵۰ متری از کانال انتخاب و بعد از مسدود کردن دو طرف به مدت ۱۰ روز پر از آب شده و رفتار پوشش بتنی مورد بررسی قرار گرفت.

مشخصات کانال در محل آب اندازی شده و نحوه اجرای آب اندازی و تخلیه

این قسمت از کیلومتر ۱۵+۶۹۱ تا ۱۵+۷۴۱ به طول ۵۰ متر اجرا شده است. این مقطع آب اندازی شده، به طور توأم در خاکریزی (به میزان خیلی کم) و خاکبرداری قرار دارد. بر اساس بررسی های ژئوتکنیکی انجام یافته در طول کانال و اطلاعات حاصل از حفاری های مطالعاتی، مطابق نمودار دانه بندی و هیدرومتری درصد دانه های هم اندازه با رس (کوچکتر از ۲ میکرون) خاک کف کانال در محل کیلومتر ۱۵+۷۵۰ برابر ۴۴/۵ و در کیلومتر ۱۵+۶۹۱ برابر ۲۴ می باشد. حدود اتربرگ و فعالیت این خاک ها در جدول (۳) نشان داده شده است.

سطح آب زیرزمینی در زمان حفاری (خرداد ماه ۱۳۸۵) حدود ۳۰ سانتی متر پایین تر از کف کانال قرار گرفته بود. این مقدار به حدود یک متر پایین تر از کف کانال در زمان آزمایش آب اندازی (مهر ۱۳۸۵) قرار داشت. قابل ذکر است که انتهای محل آب اندازی شده، کاملاً با پوشش بتنی کانال انطباق نداشته و آب به طور مستقیم با فیلتر زیرین در ارتباط بوده است. در محل آب اندازی، در مدت حدود ۳۰ ساعت کانال تا ارتفاع مورد نظر از آب پر شده است. پس از قطع کردن جریان آب، کانال در مدت حدود دو روز به صورت تدریجی از طریق فیلتر زیرین و محل لوله های بارباکان زهکشی شده است. هیچ گونه تخریب و بالازدگی در محل آب اندازی شده مشاهده نگردید.

جدول (۳): حدود اتربرگ، فعالیت و درصد دانه های هم اندازه رس برای دو نمونه

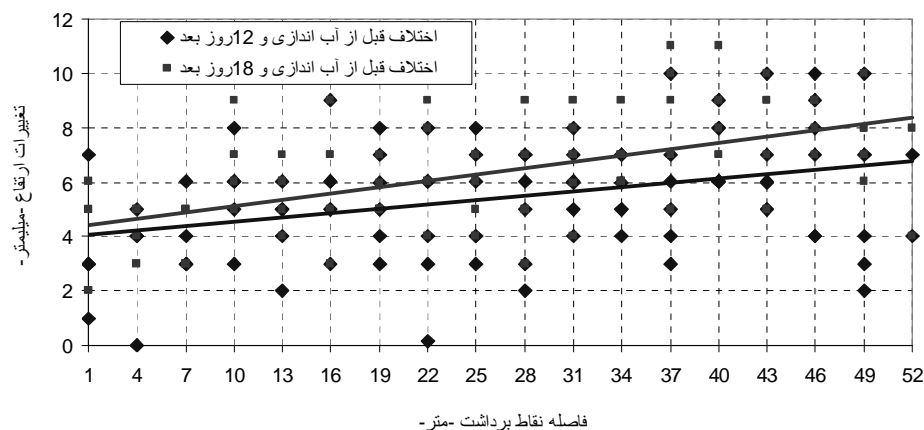
kilometre	Clay Fraction (<2micron)	Liquid Limit (LL)	Plastic Limit (PL)	Plastic Limit (PI)	Activity (PI/C _f)
15+691	24	30	20.7	9.3	0.3875
15+750	44.5	44.1	23.1	21	0.4719

اطلاعات نقشه برداری قبل و بعد از آب اندازی

قبل از انجام آب اندازی، مطابق آرایش نشان داده شده در شکل (۶)، میخ‌های فولادی در محل نصب گردیده و کدهای ارتفاعی آنها برداشت گردید. پس از انجام عملیات آب اندازی و تخلیه کانال، کدهای ارتفاعی نقاط مشخص شده در دو نوبت برداشت گردید. مشاهده گردید که ۱۲ روز پس از آب اندازی سطح پوشش بتنی کلاً بالاً آمدگی نشان می‌دهد. در قسمت بالای پوشش بتنی، بیشینه میزان بالا آمدگی برابر ۱۰+ میلی‌متر و کمترین میزان بالا آمدگی برابر صفر میلی‌متر است یعنی هیچ تغییری نکرده است. بنابراین اختلاف تغییرات ارتفاعی در مجموع ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. در تمام نقاط تغییر ارتفاع دو پانل مجاور در بیشترین حالت ۴ میلی‌متر می‌باشد. در قسمت بدنه پوشش اختلاف ارتفاع پنل‌های مجاور کمتر یا مساوی ۳ میلی‌متر را نشان می‌دهند در کف کانال اختلاف ارتفاع پنل‌های مجاور کمتر یا مساوی ۴ میلی‌متر را نشان می‌دهند.

۱۸ روز بعد از آب تغییر ارتفاع دو پانل مجاور در هیچ کجا بیشتر از ۴ میلی‌متر نمی‌باشد. در قسمت بدنه پوشش بتنی اختلاف ارتفاع پنل‌های مجاور در یک مورد ۵ میلی‌متر، در یک مورد ۴ میلی‌متر و در بقیه کمتر یا مساوی ۳ میلی‌متر را نشان می‌دهند. در کف کانال اختلاف ارتفاع پنل‌های مجاور فقط در یک مورد ۵ میلی‌متر و در بقیه موارد کمتر یا مساوی ۴ میلی‌متر را نشان می‌دهند.

با بررسی تغییرات ارتفاعی پوشش بتنی، مشاهده گردید که اگر از قسمت بالادست به پایین دست حرکت شود، بالا آمدگی پوشش بتنی در حال افزایش است. برای این که این مسئله به صورت کمی و کیفی مورد بررسی قرار گیرد، کلیه تغییرات ارتفاعی مربوط به تمام نقاط روی پوشش بتنی در مورد داده‌های ۱۲ روز پس از آب اندازی (نقاط لوزی) و تغییرات ارتفاعی مربوط به تمام نقاط روی پوشش بتنی در مورد داده‌های ۱۸ روز پس از آب اندازی (نقاط مربعی) در شکل (۵) نشان داده شده است. برای این که یک ایده کلی از این تغییرات بدست آید، یک خط از داده‌های ۱۲ روز بعد (خط پایینی) و یک خط از داده‌های ۱۸ روز بعد (خط بالایی) برآزش داده شد. این خطوط نرخ تغییرات تورم در طول کانال را بشکل کلی نشان می‌دهد. نکته مهمی که باید به آن توجه نمود، این است که شیب خط مربوط به داده‌های ۱۸ روزه نسبت به شیب خط مربوط به داده‌های ۱۲ روزه بیشتر است.

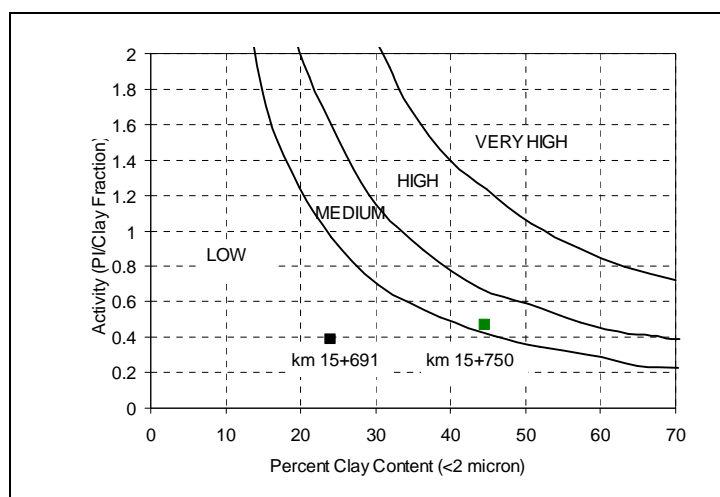


شکل (۵): مقایسه بالا آمدگی نقاط مختلف کانال بعد از ۱۲ و ۱۸ روز

همانگونه که مشاهده شد، درصد دانه‌های هم اندازه با رس در بالادست ۲۴ درصد و در پایین دست ۴۴/۵ درصد می‌باشد. در بالا دست کانال، اندیس خمیری برابر ۹/۳ و در پایین دست کانال برابر ۲۱ می‌باشد. یعنی در پایین دست خاک حاوی رس بیشتر و نتیجتاً حالت خمیری بالاتری نسبت به پایین دست دارد. اگر درجه فعالیت رس بررسی شود، مشاهده می‌شود که در بالادست میزان فعالیت برابر ۰/۳۸۷۵ و در پایین دست برابر ۰/۴۷۱۹

می باشد. می توان بوضوح ارتباط بین خاصیت خمیری و فعالیت رس را با درصد تورم مشاهده کرد. البته این مشاهده در حد یک ارزیابی کیفی می باشد و از روی آن نمی توان یک مقدار کمی دقیق را پیش بینی نمود.

برای این که پتانسیل تورم بررسی شود، چون آزمایش مستقیم تورم انجام نگرفته، می توان از روش های غیر مستقیم برای بررسی این موضوع استفاده کرد. برای بررسی این موضوع، از روش ارائه شده توسط Seed ۱۹۶۲ استفاده شد که بر اساس درصد دانه های هم اندازه با رس و فعالیت ارائه شده است (شکل ۶). با قرار دادن نتایج آزمایش های انجام یافته از خاک بالا دست و پایین دست قسمت مورد بررسی، دیده می شود که خاک بالا دست در منطقه پتانسیل تورم کم و خاک پایین دست در منطقه پتانسیل تورم متوسط قرار می گیرد. این مسئله از یک سو، نتایج بدست آمده از نقشه برداری را تصدیق می کند و از طرف دیگر نشان می دهد که صرف قرار گیری در منطقه پتانسیل تورم کم به معنی نبود تورم نیست. مخصوصاً وقتی که سازه روی بستر یک سازه سبک باشد. اختلاف شیب این دو خط نیز نشان می دهد که سرعت تورم در پایین دست خیلی بیشتر از بالا دست می باشد.



شکل (۶): پتانسیل تورم خاک بستر کانال در دو طرف محل آب اندازی

نتیجه گیری کلی

کانال اصلی AMC در منطقه ای قرار می گیرد که عمده خاک آن در سطح، رسی می باشد. در آزمایش های مکانیک خاک اندیس خمیری خاک تا مقدار ۳۳ نیز بدست آمده است. پتانسیل تورم عمدتاً در منطقه کم تا متوسط بوده ولی در برخی جاها پتانسیل بالا نیز قرار می گیرد. با توجه به این که پوشش بتنی یک سازه سبک محسوب می شود، عملاً تأثیر بسزایی در محدود کردن تورم از خود نشان نمی دهد. با توجه به این مسائل تصمیم به استفاده از فیلتر گرفته شد. این فیلتر به ضخامت ۳۰ سانتی متر در زیر پوشش بتنی اجرا شد. علت استفاده از فیلتر در مرحله اول جلوگیری از uplift ناشی از فشار آب بود، ولی این فیلتر در مورد تورم هم عملکرد مثبتی دارد.

این عملکرد مثبت به دو دلیل می باشد. اولاً با توجه به این که این فیلتر به صورت تراکم کم اجرا می شود، کمی شکل پذیر است و علاوه بر این که یک مقدار ناچیزی از تورم را خنثی می کند، ولی مهمترین حسن آن این است که فشار ناشی از تورم را به شکل تقریباً یکنواخت و پخش شده به پوشش بتنی منتقل می نماید. ثانیاً این فیلتر خود یک سربار (هرچند کم) می باشد که در مقابل قسمتی از تورم مقاومت می کند. این عملکرد باعث می شود که تغییرات ارتفاعی پانل های بتنی نسبت به هم ناچیز گردد. حرکت های نا برابر پانل ها مشکل اصلی قسمتهای اولیه این کانال می باشد زیرا حرکت کلی پانل ها به بالا در اثر تورم، خود به خود مشکل اساسی نمی باشد.

منابع مورد استفاده

- 1- Altmeyer, W.T. (1955). "**Discussion of engineering properties of expansive clays**", Proceedings American Society of Civil Engineering 81, separate No. 658:17-19.
- 2- Chen, F. H. (1988). "**Foundation on expansive soils, American Elsevier Science Publication**", New York.
- 3- Holts, W.G. and H.J. Gibbs. (1956). "**Engineering properties of expansive clays**", Transact, ASCE 121:641-677.
- 4- Jones D. E. and W. G. Holts. (1973). "**Expansive soil- the hidden disaster**", Civil Engineering, ASCE, 43(80:49-51.
- 5- Nelson, J.D. and D.J. Miller. (1992). "**Expansive soils, problem and practice in foundation and pavement engineering**", John Wiley.

