مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
بهار و تابستان ۱۳۸۸، جلد دوم، شماره ۱ و۲، صفحه ۸۳ تا ۹۸

اثر تورم خاک بستر بر کانال‌های انتقال آب دشت تبریز و ارائه‌ی راهکاراصلاحی

مسعود حاجی علیلوی بناب*[۱] فریبا بهروز سرند[۲] محمد چشم دوست[۳]

دریافت مقاله: پذیرش مقاله:

چکیده:

هر ساله تعداد بسیار زیادی از سازه‌های جدید بر روی خاک‌های متورم شونده ساخته می‌شوند. بخش عمده‌ای از این سازه‌ها متحمل خسارت‌های کوچک از قبیل ترک می‌گردند و بخشی نیز به شدت آسیب می‌بینند که دیگر قابل تعمیر نیستند. رفتارهای مختلف خاک بستر کانال‌ها که سازه‌های سبکی می‌باشند از جمله تورم، واگرایی و نشست مشکلات گوناگونی را برای آنها ایجاد می‌کنند. لایه‌های بالای دشت تبریز عموماً متشکل از ریزدانه‌ها و اکثراً از جنس رس می‌باشند. مطالعات مکانیک خاک نشان می‌دهد که تغییرات پتانسیل تورم در این منطقه نسبتاً گسترده می‌باشد. به این معنی که در بعضی از قسمت‌ها پتانسیل تورم کاملاً ناچیز و در بعضی از قسمت‌ها در حد متوسط و بعضاً متوسط به بالا می‌باشد. بعضی از قسمت‌های کانال اصلی طرح آجی‌چای دشت تبریز (آذربایجان شرقی) متحمل ترک‌ها و بالا آمدگی‌هایی شد که بعد از بررسی‌ها و آزمایش‌ها این مشکلات به بحث تورم خاک نسبت داده شد. در این مقاله به بررسی کامل این فرضیه پرداخته می‌شود. آزمایش‌های انجام یافته مورد تحلیل قرار گرفته و پیشنهاداتی برای جلوگیری و تقلیل اثر این پدیده ارائه می‌گردد. برای بررسی اثر اصلاحی این روش قسمتی از کانال پر از آب شده و تغییر شکل کانال در اثر تورم به شکل دقیقی مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج آن ارائه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: *تورم، کانال‌های انتقال آب، فیلتر، آب اندازی، دشت تبریز*

۱- دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، رایانامه hajialilue@tabrizu.ac.ir
۲- دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، رایانامه fsarand@gmail.com
۳- مهندسین مشاور یکم و توان آب
* مسئول مکاتبات

مقدمه

با توجه به این مساله که اکثر سدهای کشور به مرحله بهره‌برداری رسیده‌اند ویا در آینده نزدیک به بهره‌برداری خواهند رسید لذا احداث شبکه‌های آبیاری و زهکشی در کشور هم اکنون در اولویت طرح‌های آبی قرار گرفته است. در حال حاضر نیز با وجود بهره‌برداری از بسیاری از این سدها در کشور، قسمت عمده‌ای ازخطوط انتقال و شبکه‌های آبیاری مربوط به آنها یا هنوز احداث نشده‌اند و یا با مشکلات اجرایی و فنی مواجه هستند. از جمله این سازه‌های حساس و ضروری برای انتقال آب‌های سدها، کانال‌های بتنی غیرمسلح می‌باشند. این نوع از کانال‌ها به‌علت تکنولوژی اجرایی نسبتاً ساده و هزینه پایین در مقایسه با سایر سازه‌های انتقال آب، از مرسوم‌ترین گزینه‌ها جهت هدایت آب، برای مصارف گوناگون می‌باشند و چون بناچار این سازه‌ها باید بر روی انواع مختلف خاک‌ها احداث شوند لذا بررسی مسایل ژئوتکنیکی مربوط به اندرکنش خاک و رویه بتنی به منظور کاهش آسیب‌های وارد بر کانالها از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به موارد متعدد مشاهده شده در کشور، احداث کانال‌های آبیاری بر روی خاک‌های مساله‌دار منجر به وارد شدن آسیب‌های جدی به سازه کانال‌ها شده و در نهایت اتلاف هزینه هنگفتی را بدنبال داشته است. یکی از انواع شایع این نوع از خاک‌های مساله‌دار، خاک‌های متورم شونده می‌باشند. هر ساله تعداد بسیار زیادی از سازه‌های جدید بر روی خاک‌های متورم شونده ساخته می‌شوند. عموماً بالغ بر ۶۰٪ از این سازه‌ها متحمل خسارت‌های کوچک از قبیل ترک می‌گردند و حدود ۱۰٪ از این سازه‌ها به شدت آسیب می‌بینند که دیگر قابل تعمیر نیستند. رفتارهای مختلف خاک بستر کانال‌ها که سازه‌های سبکی می‌باشند از جمله تورم، واگرایی و نشست مشکلات گوناگونی را برای آنها ایجاد می‌کنند. خاک‌های متورم شونده در یک تعریف جامع به خاک‌هایی اطلاق می‌شود که در اثر تغییر شرایط رطوبتی دارای پتانسیل تورم و انقباض بوده و تغییرات حجمی قابل توجهی را از خود بروز داده و منجر به وارد شدن آسیب‌های جدی به سازه‌های مختلف به‌ویژه سازه‌های سبک می‌شوند. این آسیب‌ها در کانال‌ها به‌صورت ایجاد ترک‌هایی در رویه بتنی کانال و در نهایت بالازدگی آنها مشاهده می‌شوند. این ترک‌های مویی ایجاد شده با گذشت زمان و هم چنین با عملکرد سیکل‌های ذوب و یخبندان بزرگ‌تر شده و محلی برای نفوذ آب و رشد گیاهان شده و در نهایت به تغییر مشخصات هیدرولیکی کانال منتهی گردیده و خرابی آن را بدنبال خواهند داشت. از آنجا که ترمیم و بازسازی سازه‌های تخریب شده هزینه هنگفتی را به پروژه‌ها تحمیل می‌کند بنابراین پیدا کردن راهی برای کنترل تورم می‌تواند از لحاظ اقتصادی و فنی بسیار حائز اهمیت باشد. لایه‌های فوقانی دشت تبریز عموماً متشکل از ریزدانه‌ها و بیش‌تر رسی هستند. مطالعات مکانیک خاک نشان می‌دهد که خاک دشت تبریز دارای استعداد تورم می‌باشد. برخی از قسمت‌های کانال اصلی طرح آجی‌چای دشت تبریز متحمل ترک‌ها و بالا آمدگی‌هایی شده که بعد از بررسی‌ها و آزمایش‌ها این مشکلات به پدیده‌ی تورم خاک نسبت داده شد. در این مقاله ابتدا به تشریح مکانیزم تورم پرداخته خواهد شد و سپس مشکلات پدید آمده بررسی شده و در نهایت راهکاری جهت بررسی کنترل و مهار تورم ارائه می‌گردد. جهت کنترل عملکرد این راهکار قسمتی از کانال به طول ۵۰ متر آب اندازی شده و رفتار پوشش بتنی در طول زمان ارزیابی شده است.

مکانیزم تورم و روش‌های تشخیص و مقابله با آن

خاک متورم شونده (Expansive soil) اصطلاحی است که بطور کلی به انواع مصالحی که تحت شرایط تغییر رطوبت دارای پتانسیل انقباض یا تورم می‌باشند، اطلاق می‌شود. فرآیند تورم در اثر وارد شدن مولکول‌های آب به فضای بین کانی‌های رسی به‌وجود می‌آید (Schafer and Singer,1976; Parker et al. 1982). ویژگی‌های تورمی خاک، متأثر از یون موجود در مجموعه مولکول‌هاست. در اثر کمبود کاتیون موجود در محیط، فاصله بین ذرات افزایش می‌یابد. پدیده‌های مختلفی در زمان خشک و متورم شدن خاک رخ می‌دهد. در زمان خشک شدن، حجم نمونه خاک در اثرShrinkage کاهش یافته و ترک‌هایی در سطح آن دیده

می‌شود. علت ایجاد این ترک‌ها، به‌وجود آمدن تنش‌های داخلی در توده خاک خشک و منقبض شده است. این ترک‌ها در صفحات ضعیف توده خاک رخ می‌دهند (Towner, 1987, 1988; Hallett and Newson, 2005)

مشکل اصلی که در مورد خاک‌های متورم شونده وجود دارد این است که تغییر شکل به‌وجود آمده در آنها بسیار بزرگ‌تر از تغییر شکل الاستیک بوده و نمی‌توان آن را به کمک تئوری‌های کلاسیک الاستیک و یا پلاستیک پیش‌بینی نمود. جابه‌جایی‌های به‌وجود آمده در این‌گونه مصالح اغلب با یک روند غیر معمول بوده و اندازه این جابه‌جایی‌ها به اندازه‌ای است که منجر به وارد آمدن خسارت به سازه‌ها و پی‌هایی می‌شود که روی آنها ساخته شده است. در اسناد موجود چنین گزارش شده که در گذشته خاک‌های متورم شونده منجر به وارد آمدن خسارت بسیار زیادتر به پی‌ها و سازه‌ها به‌ویژه سازه‌های سبک نسبت به بلایای طبیعی دیگر نظیر زلزله و سیل شده‌اند (Jones and Holtz,1973).

از دیدگاه کانی‌شناسی، اندازه تورم به نوع و مقدار کانی‌های رسی، یون‌های قابل تعویض آنها، مقدار الکترولیت فاز مایع و ساختار داخلی آن بستگی دارد. بنابراین رفتار تغییر شکلی رس در اثر تغییر در میزان رطوبت و تنش یک تابع بسیار پیچیده‌ای از هر دو پارامتر فیزیکی- شیمیایی و تنش موثر رس‌ها می‌باشد. منابع موجود تعاریف متعددی از استعداد تورم ارائه کرده‌اند. از بین این تعاریف آنچه توسط Seed et al. (1962) و Chen (1975) ارائه شده بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سال Seed et al. (1962) پتانسیل تورم را به‌صورت درصد تورم نمونه محدود شده از طرفین که در شرایط اشباع بوده و تحت سربار 1-psi باشد و با دانسیته خشک ماکزیمم و در صد رطوبت اپتیمم با روش تراکم AASHO تهیه شده باشد تعریف کرده است. اصولاً درچنین تعاریفی ضروری است شرایط محلی نظیر فشار سربار، درصد رطوبت اولیه، فشار همه جانبه و دانسیته مورد توجه قرار گیرد. تعاریف مشابه دیگری نیز توسط محققین متعدد برای این پارامتر ارائه شده است اما تعریف ارائه شده توسط Sneethen(1984) با تعاریف قبلی متفاوت بوده و به شرایط محلی بیشتر پرداخته است. در این تعریف استعداد تورم عبارت است از تغییر حجم قائم نمونه در شرایط تعادل در آزمایش ادئومتر(نمونه از جوانب محدود شده است) که به صورت درصد ارتفاع قائم نمونه خاک دست نخورده با رطوبت و دانسیته طبیعی به ارتفاع آن در شرایط اشباع تحت بار قائم معادل شرایط محلی بیان می‌شود. باید به این نکته مهم توجه داشته باشیم که دو نوع خاک می‌تواند دارای استعداد تورم یکسان باشند اما مقدار تورم بسیار متفاوتی نسبت به هم نشان دهند(Seed et al. 1962).

سازوکار تورم رس‌های متورم شونده پیچیده و متاثر از پارامترهای متعددی می‌باشد. تورم در واقع تغییر در فاصله بین دانه‌ها بوده و این پدیده می‌تواند از تغییر در سیستم آب- خاک حاصل شود که شرایط تعادل تنش داخلی را مختل می‌کند و یا بر روی سازوکار تورم با تاثیر بر مشخصات فیزیکی نظیر پلاستیسیته یا دانسیته اثر می‌گذارد. پارامترهای موثر در استعداد تورم خاک را می‌توان به سه گروه مختلف تقسیم‌بندی نمود: الف- مشخصات خاک که بر روی طبیعت میدان نیروهای داخلی تاثیر می‌گذارند، ب- پارامترهای محیطی که تغییر در آنها ممکن است بر سیستم نیروهای داخلی اثر بگذارد و ج- شرایط تنش خاک، پارامترهای محیطی و شرایط تنش که بر روی رفتار تورمی خاک تاثیر می‌گذارند. پارامترهایی نیز وجود دارد که بر روی فشار تورم خاک‌ها تاثیر می‌گذارند. درصد رطوبت محل، دانسیته در محل، روش و مقدار تراکم، نمونه‌ای از این پارامترهای فیزیکی و مکانیکی هستند که بر روی فشار تورم تاثیرگذار می‌باشند. به‌علاوه رفتار فیزیکی- شیمیایی و نیروهای بین ذرات و خارج ذرات و اندرکنش بین آنها به وسیله نوع خاک کنترل می‌شود.

ترکیب کانی‌شناسی و ذرات رسی موجود به‌عنوان پارامترهای اصلی می‌باشند که برروی مشخصات خاک‌های رسی متورم شونده تاثیر می‌گذارند. اما مشخص کردن ترکیب کانی‌شناسی مصالح، نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی خاص و مراحل آزمایشی دشواری دارد که ممکن است برای اهداف کاربردی و مهندسی مناسب نباشد. انواع متعدد کانی‌های رسی،

استعدادهای تورمی متفاوتی را به علت میدان الکتریکی متناسب با کانی نظیر از خود نشان می‌دهند. ظرفیت تورمی توده خاک به مقدار و نوع کانی رسی موجود در آن، سطح ویژه ذرات رسی و مشخصات شیمیایی آب که ذرات خاک را احاطه کرده بستگی دارد. سه گروه ساختاری عمده از کانی‌های رسی برای اهداف مهندسی به‌صورت زیر می‌توان در نظر گرفت:

۱- گروه کائولینیت‌ها- عموماً غیر قابل تورم هستند.

۲- گروه Mica-like که شامل ایلیت و ورمی‌کولیت، بوده و می‌توانند حالت متورم شونده داشته ولی عموماً مشکلات حادی به‌وجود نمی‌آورند.

۳- گروه Smectite که شامل مونت‌موریلونیت‌ها بوده و دارای خاصیت تورم‌پذیری بسیار بالا هستند و جزو کانی‌های خطرناک محسوب می‌شوند.

Lambe & Withman (1969) گزارش نموده‌اند که قدرت تورمی خاک‌های متورم شونده با توجه به کانی‌های رسی موجود در آنها با روند زیر کاهش می‌یابد: مونت موریلونیت، ایلیت، آتاپولژیت (Attapulgite) و کائولینیت و البته به‌شدت به یون‌های قابل تعویض بستگی دارد.

El-Sohby and Rabba (1981) تاثیر مقدار رس بر روی تورم و فشار تورم با درصدهای مختلف رس در مخلوط یک بار با ماسه و بار دیگر با سیلت مورد مطالعه قرار داده‌اند. بر اساس نتایج آزمایش‌ها بر حسب مشخصات خاک و فشار اعمالی، تورم و فشار تورم با افزایش درصد رس موجود افزایش پیدا می‌کند. ایشان هم‌چنین از آزمایش ادئومتری برای مطالعه تاثیر دانسیته خشک اولیه بر روی تورم و فشار تورم در خاک‌ها استفاده کرده‌اند. برای هر نمونه مقدار تورم و فشار تورم تحت فشارهای قائم مختلف اندازه‌گیری شده است. نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد که افزایش دانسیته خشک اولیه، هر دو مقدار تورم و فشار تورم را افزایش می‌دهد.

استعداد تورم با دو دسته از روش‌ها می‌تواند ارزیابی شود:

الف – روش‌های مستقیم، ب- روش‌های غیرمستقیم

روش‌های مستقیم شامل شناسایی به روش کانی‌شناسی خاک یا ارزیابی کمّی مشخصات تورمی نمونه‌های دست نخورده در آزمایشگاه می‌باشد. روش‌های مستقیم معمولاً نیاز به تجهیزات خاص داشته و برای شناسایی و تشخیص سریع خاک‌های متورم شونده مناسب نمی‌باشد (Chen 1975). برخی از آزمایش‌های آزمایشگاهی که برای شناسایی خاک‌های متورم شونده مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتنداز: آزمایش ادئومتری پیشرفته (تورم آزاد) ISO، آزمایش تورمی با حجم ثابت (CVS)، آزمایش سربار تورمی (SO)، آزمایش Suction خاک و آزمایش PVC meter. روش‌های غیرمستقیم برای شناسایی خاک‌های متورم شونده بر مبنای آزمایش‌های ساده برای شناخت اندیس‌هایی نظیر حدود اتربرگ، درصد رس، درصد رطوبت اولیه، دانسیته خشک و حد انقباض می‌باشند. توسط (Altmeyer 1955)، (Holtz and Gibbs 1956)، (Seed 1962)، (Raman 1967) و (Chen 1975). این تذکر لازم است که حتی در یک منطقهٔ محدود که خاک منشاء زمین‌شناسی یکسانی دارد به سبب تفاوت در روند هوازدگی و خاک‌زایی که بارزترین نشانهٔ آن دانه‌بندی متفاوت خاک‌ها است خصوصیات تورمی خاک در آن منطقه تغییر می‌کند. پنج نوع نحوهٔ برخورد با مشکل تورم می‌توان مطرح نمود. جلوگیری از تغییر رطوبت خاک و به طبع آن ایجاد تورم ویا نشست استفاده از ژئوممبرین‌ها، پیش مرطوب کردن خاک (pre-wetting) و یا استفاده از برخی مواد آلی که می‌توانند عمل تورم خاک متورم شونده را با آب‌بند کردن یا به تعویق انداختن جذب آب، مختل کنند.

- جایگزینی خاک متورم شونده با یک خاک یا مصالح بهتر: تورم خاک و حساسیت سازه روی آن طوری است که کمترین تورم نیز ایجاد اشکال می‌نماید و بنابراین با جایگزینی خاک متورم شونده با خاک بدون مشکل، مشکل تورم در اکثر موارد حل می‌گردد.

- 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. سیمان نیز به عنوان 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.

– ایجاد فشار لازم توسط 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.

– طراحی سازه و نحوه اتصال آن به خاک طوری که تورم خاک موجب از دست دادن کارایی سازه نگردد. اجزای سازه طوری طراحی و یا اجرا می‌گردند که تغییر شکل خاک در اثر تورم به سازه آسیب جدی وارد نکند و یا بین سازه و خاک یک ماده تغییرشکل‌پذیر قرار داده می شود که فشار را به صورت یکنواخت به سازه وارد کند.

– قرار دادن یک لایه دارای فضاهای خالی که اگر خاک متورم شود ذرات خاک به این فضاهای خالی وارد شده و فشار تورمی ذایل گردد.

مشخصات اصلی طرح آجی‌چای تبریز

شبکه آبیاری و زهکشی دشت تبریز در شش ناحیه عمرانی و در سطح ۴۰۰۰۰ هکتار در حال اجرا است. عملیات قسمتی از این پروژه که در دست اجرا عبارت است از: کانال اصلی AMC و شبکه آن شامل کانال‌های درجه۲ و۳ و زهکش‌های اصلی کانال اصلی که حدوداً ۱۵۸۵۰ هکتار از اراضی دشت تبریز را در بر می‌گیرد و در ساحل راست رودخانه آجی‌چای قرار دارد و کانال اصلی جهت انتقال آب به میزان ۲۲ متر مکعب در ثانیه طراحی شده است. عرض کف کانال بین ۲/۵ تا ۵ متر و ارتفاع آن بین ۲ تا ۲/۷۵ متر متغیر می‌باشد. دیواره‌های کانال دارای شیب۱ (عمودی) به ۱/۵ افقی می‌باشد. پوشش اصلی کانال (لاینینگ)، یک لایه بتن غیرمسلح درجا به ضخامت ۱۲۵ میلی‌متر با عیار سیمان ۳۰۰ کیلوگرم می‌باشد. عرض پانل‌های بتنی اجرا شده در طول کانال ۳ متر می‌باشد. کانال دارای چهار سری درز اجرایی می‌باشد: یک درز در طول و در وسط بتن کف و یک درز در عرض، در هر ۳ متر طول کانال در حد فاصل بین درزهای اجرایی عرضی قیر اندود شده‌اند. قبل از طرح پیشنهادی که شامل فیلتر می‌باشد در زیر پوشش بتنی (لاینینگ) فقط یک لایه شفته سیمان، به عیار حدود ۵۰ تا ۸۰ کیلوگرم در مترمکعب و ضخامت ۲۰ سانتی‌متر در کف و دیوارها اجرا شده است.

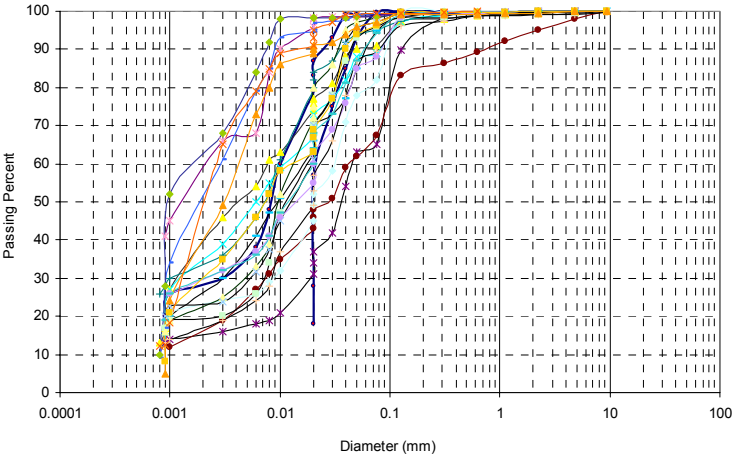
ژئوتکنیک منطقه و پتانسیل تورم

خاک‌های سطحی دشت تبریز عمدتاً ریزدانه می‌باشند که شامل سیلت و رس هستند. آزمایش کانی‌شناسی که روی سه نمونه از سه نقطه مختلف برداشته شد به صورت کیفی میزان هر یک از کانی‌ها را بصورت جدول ۱ نشان داده است. مشاهده می‌شود که میزان کانی‌های اصلی رس در جاهای مختلف متغیر می‌باشد. ولی در دو مورد از سه مورد میزان مونت‌موریلونیت و ایلیت که پتانسیل تورمی خاک را زیاد می‌کنند بیشتر از سایر کانی‌ها است.

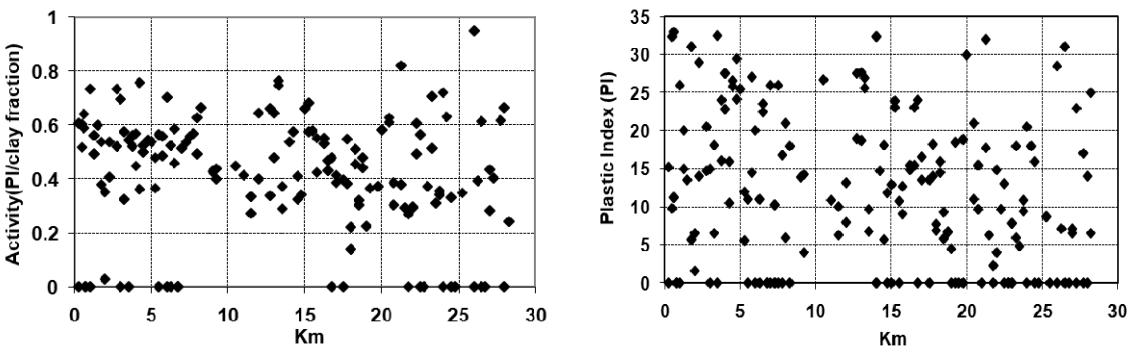
جدول ۱- میزان کیفی کانی‌های مختلف رس در خاک بستر کانال اصلی

میزان هرکدام از کانی‌ها بترتیب از بیش‌ترین به کم‌ترین	محلkm
۱-کلریت ۲- ایلیت ۳- مونت‌موریلونیت ۴- کائولینیت (کم)	۱۴+۲۵۰
۱- مونت‌موریلونیت ۲- کلریت ۳- ایلیت ۴- کائولینیت (کم)	۲۳+۲۵۰
۱- ایلیت ۲- کلریت ۳- مونت‌موریلونیت	۲۷+۷۵۰

منحنی‌های دانه‌بندی نمونه‌های اخذ شده از بستر کانال اصلی در شکل ۱ نشان داده شده است. جنس خاک بیشتر رسی می‌باشد. اندیس خمیری (PI) و فعالیت خاک روی نمونه‌های اخذ شده از ۱۶ کیلومتر در طول کانال و هر ۲۵۰ متر در شکل۲ نشان داده شده است. این نمونه‌ها مربوط به عمق کف کانال می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که اندیس خمیری خاک بین صفر و ۳۳ تغییر می‌کند. این تغییرات آهنگ مشخصی نسبت به طول نداشته و در طول کانال تغییرات زیادی مشاهده می‌شود. میزان فعالیت رس در نقاط مختلف نیز روند مشخصی نداشته و تغییرات آن از صفر تا ۱ گسترده است.



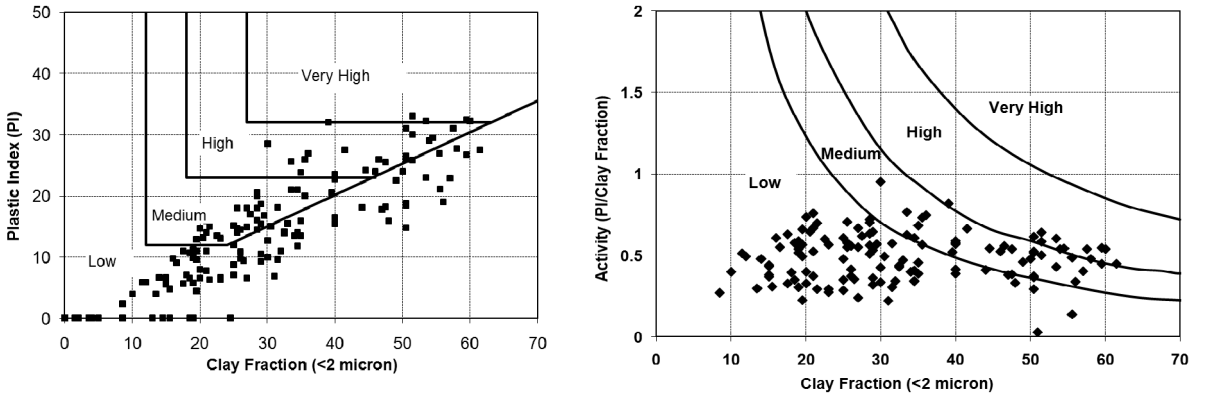
شکل ۱- منحنی‌های دانه‌بندی نمونه‌های اخذ شده از بستر کانال اصلی



ب الف

شکل ۲ - تغییرات الف) اندیس خمیری و ب) فعالیت خاک در طول کانال AMC

دو روش غیرمستقیم تشخیص استعداد تورم خاک به شکل وسیعی در ادبیات فنی مورد استفاده قرار گرفته است که عبارتند از روش Seed et al. (1962) (شکل ۳ الف) و روش Van der Merwe (1964) (شکل ۳ ب). در روش اول درصد ذرات هم‌اندازه با رس و فعالیت رس در یک گراف قرار می‌گیرند. فضای این گراف به چهار قسمت تقسیم شده است که معرف میزان استعداد تورم از کم تا خیلی زیاد می‌باشد. در روش دوم نیز درصد ذرات هم‌اندازه با رس و دامنه خمیری (PI) در یک گراف قرار گرفته‌اند. در این گراف نیز چهار فضا وجود دارد و خاک می‌تواند جزو خاک‌های با استعداد تورم کم تا خیلی زیاد قرار گیرد. روش Van der Merwe (1964) نسبت به روش Seed et al. (1962) یک کاستی دارد و آن اینکه فضای استعداد تورم کم، هم مرز با پتانسیل تورم متوسط، زیاد و خیلی زیاد می‌باشد. بنابراین با کمی تغییر و یا خطا، خاک با پتانسیل تورم کم می‌تواند در منطقه با پتانسیل تورم خیلی زیاد قرار گیرد و به‌عکس. نتایج آزمایش‌ها در طول کانال در این شکل‌ها قرار گرفته‌اند. مشاهده می‌شود که پتانسیل تورم در محدودهٔ تورم کم تا متوسط قرار می‌گیرد. البته تعدادی از نمونه‌ها هم در محدودهٔ پتانسیل تورم زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. نتیجه‌ای که می‌توان گرفت این است که پدیده تورم باید در طراحی سازه‌ها و به ویژه سازه‌های سبک در این منطقه مد نظر قرار گیرد.



الف ب

شکل ۳- ارزیابی پتانسیل تورم خاک در مسیر کانال AMC بر اساس الف) Seed (1962) و ب) Van der Merwe (1964)

مشکلات به وجود آمده

در اثر باران‌های فصلی و جاری شدن سیل در رودخانه آجی‌چای، بعضی از نهرهای سنتی دچار آب گرفتگی شدند. این آب گرفتگی باعث ریزش آب به داخل کانال در بعضی از قسمت‌ها گردید و موجب جمع شدن آب درکانال تا ارتفاع حدود ۱۲۰ سانتی‌متر شد. پس از تخلیه آب ترک‌های پراکنده روی پوشش بتنی سطوح شیب‌دار و هم‌چنین بالازدگی پانل‌ها نسبت به هم (چند تا ۳۰ میلی‌متر) در محل درز اجرایی همین قسمت شیب‌دار، مشاهده گردید. در کف کانال ترک خوردگی و بالازدگی مشاهده نگردید. در بعضی از قسمت‌ها هیچ وقت آب داخل کانال جمع نشده بود ولی زمین‌های مجاور در فصل کشاورزی آبیاری شده بودند. در این قسمت‌ها نیز بالازدگی‌هایی در درزهای دیواره کانال ایجاد گردید (شکل۴).

دلایل احتمالی مشکلات

با توجه به کلیه شواهد و بررسی‌های انجام گرفته، واضح است که حرکت و جابه‌جایی‌ها در قسمت‌های سطوح شیب‌دار کانال و به سمت داخل روی داده است. این حرکت و جابجایی‌ها در قسمت پایین‌تر سطوح شیب‌دار کانال بوده و در قسمت‌های فوقانی کانال کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد وجود پانل‌های قسمت شیب‌دار که وزن آنها به صورت بارهای تکیه‌گاهی بر روی پانل‌های افقی کف وارد می‌شود، از حرکت آنها جلوگیری کرده است. در بعضی از قسمت‌ها ترک‌هایی در سطوح شیب‌دار کانال و در اثر وجود فشار در قسمت پایین‌تر آنها ایجاد شده است. ابتدا احتمالات اولیه مطرح می‌شوند و سپس به دلائل اصلی مورد بحث قرار می‌گیرند. احتمالات اولیه در مورد علل این ترک‌ها و بالازدگی‌ها می‌توانند یکی یا ترکیبی از عوامل زیر باشند.

- تورم رس خاک‌ریز بدنه کانال در نتیجه نفوذ آب از طریق درزهای اجرایی پوشش بتنی، یا در اثر بارندگی و نفوذ آب به خاک.
- به وجود 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 به وجود آمده در بدنه خاکی کانال در نتیجه اختلاف مشخصه‌های قسمت خاک‌ریز کانال و زمین طبیعی اولیه. در بخش اعظم مسیر، بخشی از کانال در خاک‌برداری و بخشی در خاک‌ریزی می‌باشد. جنس مصالح خاک‌ریزی کاملاً متفاوت با مصالح موجود در بستر می‌باشد. مصالح خاکریز کاملاً متراکم می‌شود ولی فقط روی خاک بستر (لایه‌ای ۳۰ سانتی‌متری) متراکم می‌گردد. بنابراین دو جسم روی هم قرار می‌گیرند که از لحاظ مکانیکی کاملاً متفاوت می‌باشند و بنابراین می‌توانند تغییر شکل‌های غیر سازگار داشته باشند.

شکل ۴ - تصاویری از محل‌های آسیب دیده و شکل شماتیک بالازدگی پوشش

بررسی تورم خاک

پس از بررسی‌های فراوان و مشاهده نوع و آرایش ترک‌ها و بالازدگی‌ها، این نتیجه حاصل شد که مشکلات به وجود آمده می‌تواند همزمان دلایل متعددی داشته باشد اما مهم‌ترین و اصلی‌ترین این پدیده‌ها که تورم (Swelling) است، محتمل‌ترین مسئله می‌باشد. به چند دلیل در کف کانال ترک مشاهده نشده است.

۱- حدود ۳۰ سانتی‌متر فیلتر در کف کانال برای زهکشی از ابتدای پروژه اجرا شده بود وبعد از مشاهده ترک‌ها و انجام بررسی‌های لازم، فیلتر در دیواره نیز اجرا شد.

۲- پانل‌های کف چون به شکل افقی اجرا می‌شوند تراکم لازم به آنها داده شده و بتن نسبت به دیواره مناسب‌تر است که به صورت شیب‌دار اجرا می‌شود.

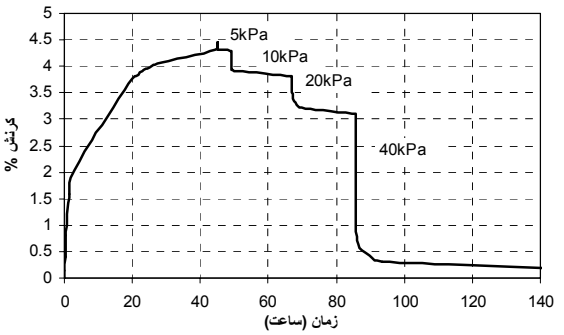
۳- احتمالاً بتن پانل کف نیز در اثر تورم کمی بالا آمده است ولی این بالا آمدگی یکنواخت بوده و موجب ترک نشده است.

۴- دلایل سازه‌ای از جمله وارد آمدن وزن دیواره‌ها روی پانل کف نیز می‌تواند جزو دلایل باشد.

برای تعیین استعداد تورمی، چند نمونه دست نخورده خاک از قسمت‌هایی که آسیب دیده 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 حدود۱۹ می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی پیشنهادی توسط Seed 1962 این خاک جزو خاک‌های با استعداد تورم پایین و طبق طبقه‌بندی Van der Merwe 1964 جزو خاک‌های با استعداد تورم متوسط قرار می‌گیرد.

بنا به تعریف، فشار تورم عبارت است از فشار مورد نیاز برای اینکه حجم خاک به حالت اولیه برسد در حالیکه رطوبت خاک افزایش یافته است. به‌عبارت دیگر، فشار تورم به صورت باری تعریف می‌شود که نسبت تخلخل خاک را برابر با نسبت تخلخل اولیه نگه می‌دارد.

برای تعیین فشار تورمی ابتدا نمونه دست نخورده‌ای از این خاک تهیه و چون درصد رطوبت طبیعی خاک بالا بود ابتدا نمونه بمدت 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. سپس نمونه در حالت غرقاب قرار می‌گیرد تا با جذب آب متورم گردد. نتیجه این آزمایش، تورمی برابر ۵/۴٪ بعد از ۴۸ ساعت را نشان داد. آزمایش با بارگذاری‌های پله‌ای ادامه پیدا می‌کند تا به حالت کرنش صفر برسد. یعنی افزایش حجمی را که در اثر جذب آب پیدا کرده در اثر بارگذاری از دست بدهد. با انجام این آزمایش فشار تورمی معادل 40kPa به‌دست آمده است (شکل۵). معنی این فشار این است که اگر تنش وارده از سازه به خاک معادل این تنش و یا بیشتر از این تنش باشد، خاک نمی‌تواند در اثر جذب آب متورم شود. ولی اگر تنش وارده از سازه به خاک کمتر از فشار تورمی باشد خاک می‌تواند سازه را حرکت دهد.



شکل ۵–منحنی تورم آزاد و بارگذاری برای تعیین فشارتورمی

جدول ۲: مشخصات خمیری خاک کانال مشکل‌دار

اندیس خمیری PI	حدروانی LL	حدخمیری PL	حدانقباض SL	درصد رطوبت w
19	47	28	11	24%

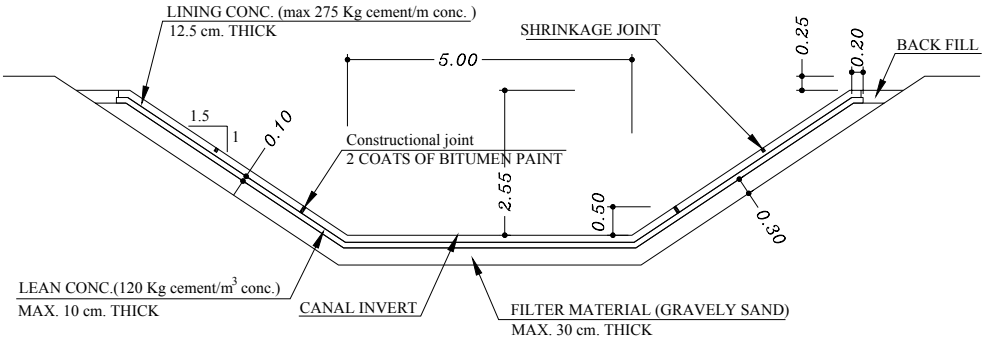
به عنوان مثال فونداسیون یک ساختمان ۲ طبقه می‌تواند تنشی به اندازه 40kPa بر خاک وارد کند ولی تنش ناشی از یک پوشش بتنی (لاینینگ) به ضخامت ۱۲۵ میلی‌متر به اضافه یک لایه شفته آهکی به ضخامت ۲۰۰ میلی‌متر نمی‌تواند از8kPa تجاوز نماید. بنابراین فشار تورمی 40kPa با اینکه برای سازه‌های سنگین خیلی زیاد نمی‌باشد ولی برای سازه‌های سبک مثل پوشش بتنی می‌تواند مخرب باشد.

پیشنهاد استفاده از یک لایهٔ فیلتر

با جمع‌بندی نظرات مختلف استفاده از یک لایه فیلتر ۳۰ سانتی‌متری به همراه یک لایه بتن مگر که تنها بخاطر سهولت اجرای پوشش بتنی مطرح گردید به عنوان یک راه کار جهت جلوگیری و یا کاهش اثرات پدیده‌های مختلف پیشنهاد گردید. جزئیات اجرائی طرح جدید با لایه فیلتر در شکل ۶ نشان داده شده است. برای روشن شدن هر چه بیشتر مسئله تأثیر اجرای لایه فیلتر روی هریک از موارد مذکور به اختصار شرح داده می‌شود. مهم‌ترین نقش فیلتر زهکشی فشار به وجود آمده در پشت پوشش کانال و به طبع آن جلوگیری از بالازدگی (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 می کند. هدف اصلی از اجرای فیلتر عمدتاً این مسئله بوده و عملکرد فیلتر روی پدیده‌های دیگر فرعی می‌باشد.

لایه فیلتر روی تورم اثر مستقیم ندارد بلکه مشخصات ماده استفاده شده در فیلتر، موجب کاهش اثرات تورم به شرحی که داده خواهد شد می‌گردد.

با توجه به اینکه فیلتر از مواد دانه‌ای تشکیل یافته است فشارهای موضعی خاک بستر را می‌تواند به شکل یکنواخت‌تری به پوشش بتنی منتقل کند و جابه‌جایی‌های غیر یکسان پانل‌های مجاور را کاهش دهد. بنابراین با اینکه این لایه جلوی تورم را به طور کامل نمی‌گیرد ولی اثر پدیده تورم روی پوشش بتنی را تقلیل می‌دهد و کاربری پوشش بتنی را تا حدودی حفظ می‌کند. به‌نظر نگارنده این مهم‌ترین اثر لایه فیلتر در مقابل تورم می‌باشد. مسئله دوم وزن این لایه فیلتر می‌باشد. لایه فیلتر فشاری معادل 5kPa در جهت قائم ایجاد می‌کند (در جهت عمود بر سطح دیواره کانال حدود 4kPa).



شکل ۶- مقطع اجرایی کانال اصلی بعد از اجرای لایه فیلتر

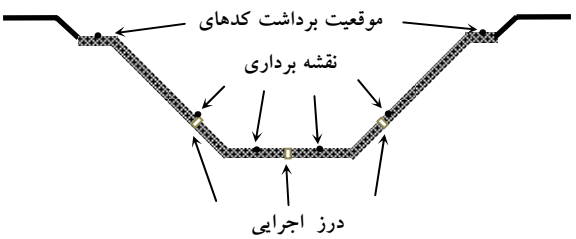
این فشار با اینکه در مقابل فشار تورمی زیاد نیست ولی بسته به استعداد تورم می‌تواند قسمتی از فشار تورمی را جبران نماید. مسئله بعدی محیط متخلخل لایه فیلتر می‌باشد که هر چند بسیار ناچیز، ولی قسمتی جزئی از تورم خاک به داخل محیط متخلخل فیلتر وارد می‌شود. به عنوان نتیجه‌گیری از بحث انجام یافته باید به این نکته توجه نمود که هدف اصلی فیلتر جلوگیری از تورم نیست بلکه زهکشی فشار پشت پوشش کانال می‌باشد. این فیلتر عملکرد مثبتی در مقابل تورم نیز دارد و کمی از اثرات مخرب تورم را تسکین می‌دهد. البته باید هم‌چنین توجه نمود که این عملکرد مثبت برای میزان تورم کم تا متوسط می‌تواند به طور محسوس موثر باشد والا برای استعدادهای تورم بالا وخاکی که رطوبت خودرا ازدست داده است نمی‌تواند جلوی تخریب سازه‌های سبک را بگیرد.

کنترل عملکرد لایهٔ فیلتر

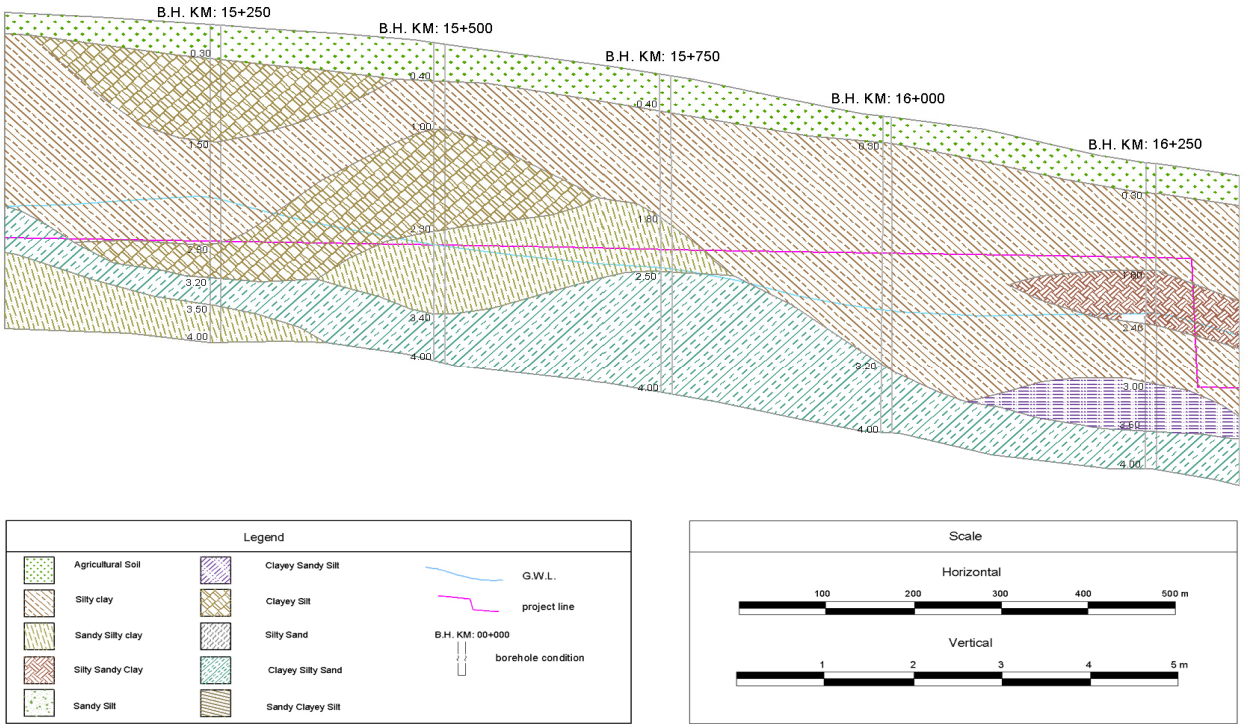
برای بررسی عملکرد فیلتر در مقابل تورم خاک، یک قسمت ۵۰ متری از کانال انتخاب و بعد از مسدود کردن دو طرف آن، به مدت ۱۰ روز پر از آب شده (شکل ۷) و رفتار پوشش بتنی آن مورد بررسی قرار گرفت. این قسمت از کیلومتر ۱۵+۶۹۱ تا ۱۵+۷۴۱ به طول ۵۰ متر است. این مقطع آب‌اندازی شده، به طور هم‌زمان تحت خاک‌ریزی (به میزان خیلی کم) و خاک‌برداری قرار دارد. قبل از انجام عملیات آب‌اندازی مطابق با آرایش نشان داده شده در شکل ۸ میخ‌های فولادی در محل نصب گردیده و کدهای ارتفاعی آنها برداشت شد . پس از انجام عملیات آب‌اندازی و تخلیه کانال، کدهای ارتفاعی نقاط مشخص شده دوباره در نوبت‌های مختلف برداشت گردید. پروفیل زمین‌شناسی این طول از کانال در شکل ۹ نشان داده شده است. براساس بررسی‌های ژئوتکنیکی انجام یافته درطول کانال و اطلاعات حاصل از حفاری‌های مطالعاتی، مطابق نمودار دانه‌بندی و هیدرومتری (شکل۱۰) درصد دانه‌های هم-اندازه با رس (کوچکتراز ۲ میکرون) خاک کف کانال در محل کیلومتر ۱۵+۷۵۰ برابر۴۴ و در کیلومتر ۱۵+۶۹۱برابر۲۴می‌باشد. حدود اتربرگ و فعالیت این خاک‌ها در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. سطح آب زیرزمینی در زمان حفاری حدود ۳۰ سانتی‌متر پایین‌تر از کف کانال قرار گرفته بود. این مقدار، در زمان آب‌اندازی حدود یک متر پایین‌تر از کف کانال قرار داشت. در آب‌اندازی، برای مدت حدود ۳۰ ساعت کانال تا ارتفاع مورد نظر از آب پر شد. پس از قطع کردن جریان آب، برای مدت حدود دو روز کانال به صورت تدریجی از طریق فیلتر زیرین و محل لوله‌های بارباکان زهکشی شد. در محل آب‌اندازی هیچ‌گونه تخریب و یا بالازدگی مشاهده نگردید.

پس ازانجام عملیات‌آب‌اندازی و تخلیه کانال، کدهای ارتفاعی نقاط مشخص شده در دو نوبت برداشت شد نتایج مربوط به برداشت‌های نقشه‌برداری در شکل۱۱ نشان داده شده‌اند. در این شکل مشاهده می‌شود که۱۲ روز پس از آب‌اندازی سطح پوشش بتنی کلاً بالاآمدگی نشان می‌دهد. در قسمت بالای پوشش بتنی بیشینه میزان بالاآمدگی برابر۱۰+ میلی‌متر و کم‌ترین آن برابر صفرمیلی‌متر است یعنی هیچ تغییری نکرده است. بنابراین اختلاف تغییرات ارتفاعی در مجموع ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. بیش‌ترین تغییر ارتفاع مربوط به دو پانل مجاور در متراژ ۲۲ بوده که برابر ۷ میلی‌متر شده است.

شکل ۷- بخشی از کانال که آب اندازی شده است



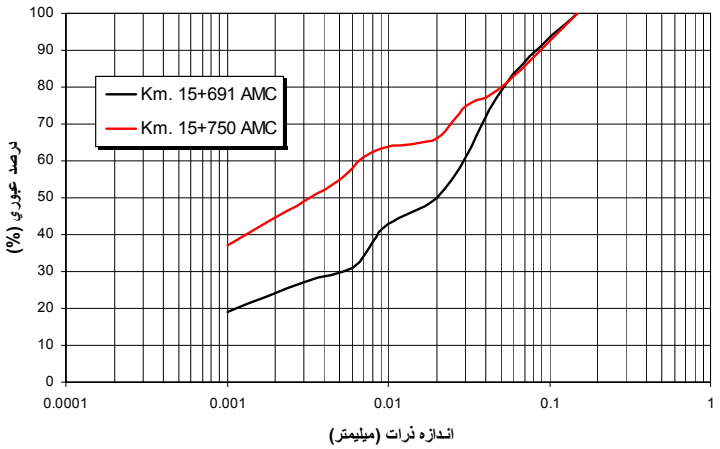
شکل ۸- موقعیت کدهای نقشه‌برداری شده



شکل ۹- پروفیل طولی زمین‌شناسی کانال اصلی در مقطع آب‌اندازی شده

جدول ۳- حدود اتربرگ، فعالیت و درصد دانه‌های هم‌اندازه رس برای دو نمونه

کیلومتر	میزان رس C_f (<2micron)	حد روانی (LL)	حد پلاستیک (PL)	اندیس خمیری (PI)	فعالیت (PI/C_f)
۱۵+۶۹۱	۲۴	۳۰	۲۱	۹	۳۹/۰
۱۵+۷۵۰	۴۴	۴۴	۲۳	۲۱	۴۷/۰



شکل ۱۰- منحنی‌های دانه‌بندی مربوط به دو نمونه از ابتدا و انتهای قسمت آب‌اندازی شده

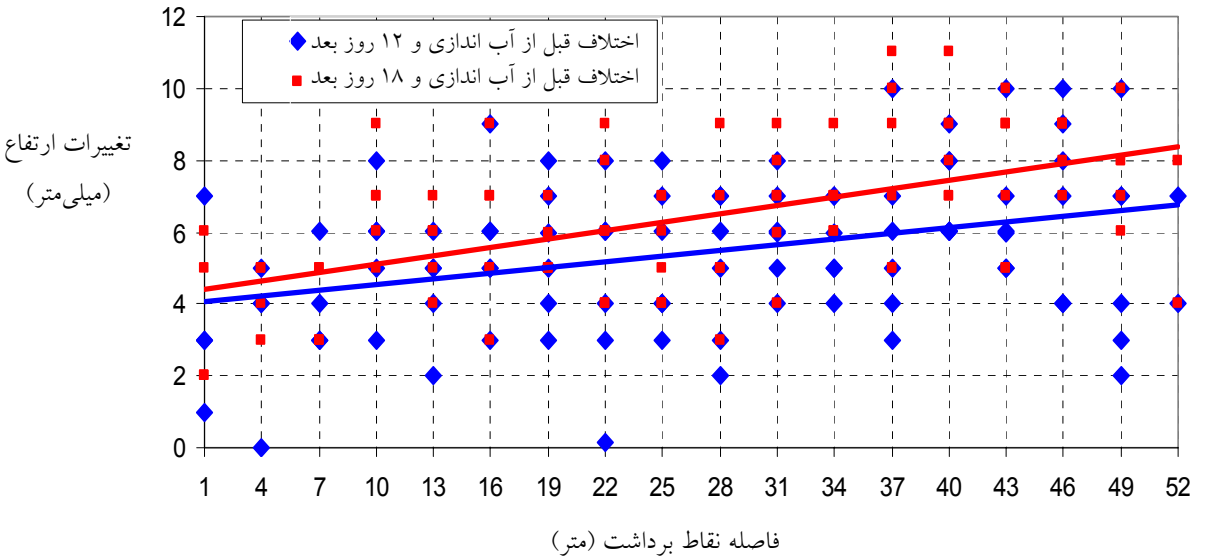
غیر از این مورد که اندازه‌گیری آن مشکوک می‌باشد در بقیه نقاط تغییر ارتفاع دو پانل مجاور در بیشترین حالت ۴ میلی‌متر می‌باشد. در قسمت بدنه پوشش بتنی بیشینه میزان بالاآمدگی برابر ۸+ میلی‌متر و کم‌ترین مقدار بالاآمدگی برابر ۱+ میلی‌متر می‌باشد. میزان اختلاف تغییرات ارتفاعی برابر ۷ میلی‌متر می‌باشد ولی اختلاف ارتفاع پانل‌های مجاور کمتر یا مساوی ۳ میلی‌متر را نشان می‌دهند در کف کانال بیشینه میزان بالاآمدگی برابر ۹+ میلی‌متر و کم‌ترین مقدار بالاآمدگی برابر ۳+ میلی‌متر می‌باشد. میزان اختلاف تغییرات ارتفاعی برابر ۶ میلی‌متر است. اختلاف ارتفاع پانل‌های مجاور فقط در یک مورد ۶ میلی‌متر و در بقیه موارد کمتر یا مساوی ۴ میلی‌متر را نشان می‌دهند. ۱۸ روز بعد از آب‌اندازی در قسمت بالای پوشش بتنی بیشینه میزان بالاآمدگی برابر ۱۰+ میلی‌متر و کم‌ترین میزان بالاآمدگی برابر۳+ میلی‌متر بنابراین اختلاف تغییرات ارتفاعی در مجموع ۷ میلی‌متر است. تغییر ارتفاع دو پانل مجاور در هیچ نقطه‌ای بیشتر از ۴ میلی‌متر نمی‌باشد. در قسمت بدنه پوشش بتنی بیشینه میزان بالاآمدگی برابر ۱۱+ میلی‌متر و کم‌ترین مقدار بالاآمدگی برابر ۲+ میلی‌متر است. میزان اختلاف تغییرات ارتفاعی برابر ۷ میلی‌متر می‌باشد ولی اختلاف ارتفاع پانل‌های 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 بیشینه میزان بالاآمدگی برابر۱۰+ میلی‌متر و کم‌ترین مقدار بالاآمدگی برابر۲+ میلی‌متر است. میزان اختلاف تغییرات ارتفاعی برابر ۸ میلی‌متر می‌باشد. اختلاف ارتفاع پانل‌های مجاور فقط در یک مورد ۵ میلی‌متر و در بقیه موارد کمتر یا مساوی ۴ میلی‌متر را نشان می‌دهند. این نتایج نشان می‌دهد علاوه بر اینکه فیلتر توانسته است قسمتی از تورم خاک را مستهلک نماید بلکه تغییر شکل‌ها را طوری روی پانل‌های بتنی توزیع کرده است که هیچ‌گونه ترکی ایجاد نشده و اختلاف تغییر مکان پانل‌های مجاور از ۵ میلی‌متر تجاوز نکرده است. در صورتی‌که در قسمت‌های اولیه کانال که فیلتر اجرا نشده بود با همین میزان استعداد تورم، ترک‌هایی در پانل‌ها ایجاد شده بود و اختلاف تغییر مکان پانل‌ها تا ۳۰ میلی‌متر هم قابل مشاهده بودند.

با بررسی تغییرات ارتفاعی پوشش بتنی دیده می‌شود که از بالادست به پایین‌دست بالاآمدگی پوشش بتنی در حال افزایش است. برای اینکه 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 آب‌اندازی (نقاط لوزی) و تغییرات ارتفاعی مربوط به تمام نقاط روی پوشش بتنی، در مورد داده‌های ۱۸ روز پس از آب‌اندازی (نقاط مربعی) در یک شکل نشان داده شده است (شکل ۱۲).

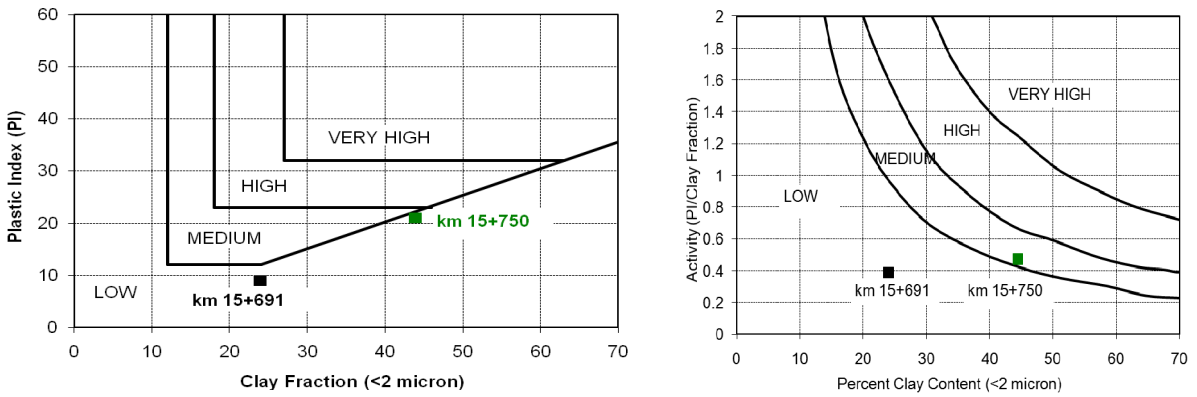
شکل ۱۱- مقایسه تغییرات ارتفاعی نقاط مختلف پوشش بتنی

برای اینکه یک ایده کلی از این تغییرات به‌دست آید یک خط از داده‌های ۱۲ روز بعد (خط پایینی) و یک خط از داده‌های ۱۸ روز بعد (خط بالایی) برازش داده می‌شود. این خطوط نرخ تغییرات تورم در طول کانال را به شکل کلی نشان می‌دهد. نقطه مهمی که باید به آن توجه نمود این است که شیب خط مربوط به داده‌های ۱۸ روزه نسبت به شیب مربوط به داده‌های ۱۲ روزه بیشتر است.

همان‌گونه که مشاهده شد درصد دانه‌های هم‌اندازه با رس در بالادست ۲۴٪ و در پایین دست ۴۴٪ می‌باشد. در بالادست کانال، اندیس خمیری برابر ۹ و در پایین دست کانال برابر ۲۱



شکل ۱۲- مقایسه بالاآمدگی نقاط مختلف کانال بعد از ۱۲ و ۱۸ روز



شکل ۱۳- مقایسه پتانسیل تورم در دو انتهای کانال با روش Seed et al. (1962) و Van der Merwe (1964)

است. یعنی در پایین‌دست، خاک حاوی رس بیشتر و در نتیجه حالت خمیری بالاتری نسبت به پایین‌دست دارد. اگر درجه فعالیت رس (Activity) را بررسی کنیم خواهیم دید که در بالادست میزان فعالیت برابر۰/۳۹ و در پایین‌دست برابر ۰/۴۷ است. می‌توان به وضوح ارتباط بین خاصیت خمیری و فعالیت رس را با درصد تورم مشاهده کرد. البته این مشاهده در حد یک ارزیابی کیفی می‌باشد و از روی آن نمی‌توان یک مقدار کمّی دقیق را پیش‌بینی نمود.برای اینکه استعداد تورم بررسی گردد، از روش‌های غیرمستقیم برای بررسی استفاده می‌شود. برای بررسی این موضوع از دو روش ارائه شده توسط Seed et al. (1962) و Van der Merwe (1964) استفاده می‌شود که بر اساس درصد دانه‌های هم‌اندازه با رس و فعالیت ارائه شده است (شکل۱۳). با قرار دادن نتایج آزمایش‌های انجام یافته از خاک بالادست و پایین‌دست قسمت مورد بررسی دیده می‌شود که خاک بالادست در منطقه استعداد تورم کم و خاک پایین‌دست در منطقه استعداد تورم متوسط قرار می‌گیرد. این مسئله از یک سو نتایج بدست آمده از نقشه‌برداری را تصدیق می‌کند و از طرف دیگر نشان می‌دهد که صرف قرارگیری در منطقه پتانسیل تورم کم به معنی نبودن تورم نیست. به ویژه وقتی که سازه روی بستر یک

سازه سبک باشد. اختلاف شیب این دو خط نیز نشان می‌دهد که سرعت تورم در پایین‌دست خیلی بیشتر از بالادست است.

نتیجه گیری

کانال اصلی AMC در منطقه‌ای قرار می‌گیرد که عمدهٔ خاک آن در سطح، رسی می‌باشد. در آزمون‌های مکانیک خاک اندیس خمیری خاک تا مقدار ۳۳ نیز به دست آمده است. استعداد تورم خاک عمدتاً در محدوده‌های کم تا متوسط و در چند مورد نیز در محدوده‌ی استعداد بالا قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه پوشش بتنی یک سازه سبک محسوب می‌شود عملاً تأثیر به‌سزایی در محدود کردن تورم از خود نشان نمی‌دهد. با توجه به این مسائل تصمیم به استفاده از فیلتر گرفته شد. این فیلتر به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر 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 می‌باشد. اولاً با توجه به اینکه این فیلتر به صورت تقریباً شل اجرا می‌شود کمی شکل‌پذیر است و علاوه بر اینکه یک مقدار ناچیزی از تورم را خنثی می‌کند ولی مهم‌ترین حسن آن این است که فشار ناشی از تورم را به شکل تقریباً یکنواخت و پخش شده به پوشش بتنی منتقل می‌کند. ثانیاً این فیلتر خود یک سربار (هرچندکم) می‌باشد که در مقابل قسمتی از تورم مقاومت می‌کند. این عملکرد باعث می‌شود که تغییرات ارتفاعی پانل‌های بتنی نسبت به هم ناچیز گردد. حرکت‌های نابرابر پانل‌ها مشکل اصلی قسمت‌های اولیه این کانال بوده و حرکت کلی پانل‌ها در اثر تورم، مشکل اساسی نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق بدون حمایت سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان-شرقی قابل انجام نبوده است. مهندسین مشاور یکم به عنوان مشاور طرح نقش به سزائی را در انجام مطالعات ایفا نموده‌اند. از همکاری این مجموعه قدردانی می‌گردد.

منابع

Altmeyer, W.T., (1955) "Discussion of Engineering properties of expansive clays" Proceeding American Society of Civil Engineering 81. separate No. 658. pp. 17-19

Chen, F.H., (1975) "Foundation on Expansive Soild", Elsevier Scientific Publishing Company", Amsterdam.

El-Sohby, M.A., Rabba, E.A., (1981) "Some Factors Affecting Swelling of Clayey Soils", Geotechnical Engineering, Vol. 12, pp. 19-33

Hallett, P.D., Newson, T.A., (2005) "Describing soil crack formation using elastic – plastic fracture mechanics", European Journal of Soil Science 56, pp.31–38.

Holts, W.G., Gibbs, H.J., (1956) "Engineering Properties of Expansive clays", Transact. ASCE 121. pp. 641-677

Jones D.E., and Holts, W.G., (1973) "Expansive soil- the hidden disaster", Civil Engineering. ASCE 43(8). pp. 49-51

Lambe, T.W., and Whitman, R.V., (1969) "Soil Mechanics", John Wiley and Sons, Co Inc., New York

Parker, J.C., Amos, D.F., Zelazny, L.W., (1982) Water adsorption and swelling of clay minerals in soil systems", Soil Science Society of America Journal 46, pp.450–456.

Raman, V., (1967) "Identifications of expansive soils from the plasticity index and the shrinkage index data", The Indian Engineer 11 (1967) (1), pp. 17–22.

Schafer, W.M., Singer, M.J., (1976) "Influence of physical and mineralogical properties on swelling of soils in Yolo County, California", Soil Science Society of America Journal 40, 557–562.

Seed, H.B., Woodward, R.J., Lundgren, R., (1962) "Prediction of swelling potential for compacted clays", Journal of S.M.F. Division, ASCE, 88, SM3, 53–87.

Snethen, D.R., (1984) "Evaluation of Expedient Methods for Identification of Potentially Expansive Soils", 5th International Conference on Expansive Soils, Adelaide, South Australia.

Towner, G.D., (1987) "The mechanisms of cracking of drying clay", Journal of Agricultural. Engineering Research 36, 115–124.

Van Der Merwe, D.H., (1964) "The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils", Civil Engineer in South Africa 6, pp. 103–106