

ترک خوردگی پوشش بتنی کانالها بر اثر پتانسیل پنهان تورم

حسن رحیمی و شهرام باروتکوب

دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش ۲۵/۸/۳۰

چکیده

تخریب پوششهای بتنی کانالهای آبیاری که معمولاً بصورت ترک، بالا آمدگی و ایجاد درز و شکاف بروز می نماید، هر ساله باعث هدر رفتن مقادیر زیادی از منابع آبی کشور به صورت نشت و خسارات مالی می گردد. در پی بروز ترک های متعدد در پوشش بتنی کانالهای واحد کشت و صنعت نیشکر شعبیه در استان خوزستان، تحقیقات گسترده ای جهت یافتن علت این امر بعمل آمد. در این تحقیق با انجام یک سلسله آزمایشهای آزمایشگاهی، نظیر تعیین مشخصه های مهندسی خاک (دانه بندی، هیدرومتری، تراکم و حدود آتربرگ)، آزمایشهای شیمیایی (تعیین املاح محلول نظیر کاتیونها، آنیونها، گچ، آهک pH و EC)، آزمایش تعیین قابلیت واگرانی خاک به دو روش شیمیایی و بین هول و آزمایش تورم با استفاده از روش استاندارد تورم (ASTM) و روش ارائه شده توسط انجمن بین المللی مکانیک خاک و مهندسی بی (ISSMFE) بر روی نمونه های خاک برداشت شده از ستر کانالهای تخریب شده مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با انجام یک آزمایش صحرایی، در یک قطعه از کانال پوشش شده بطول ۶۰ متر، ضمن میخ کوبی در ۱۰ مقطع عرضی در اعماق مختلف و انجام نقشه برداری های روزانه، رفتار ستر خاکی کانال قبل و بعد از آب اندازی مورد مقایسه قرار گرفته و سپس نتایج آزمایشهای آزمایشگاهی و صحرایی تحلیل گردیدند. نتایج آزمایشهای انجام شده وجود املاح انحلال پذیر در خاک منطقه را در حد کم و نمونه های مورد بررسی را از نظر قابلیت واگرانی در دسته مقاوم تا بسیار مقاوم به فرسایش نشان داد. مشخصه های مهندسی خاک منطقه نظیر دانه بندی و حدود روانی و خمیری، این خاک را در طبقه خاکهای با پتانسیل تورم پذیری کم تا متوسط قرار می دهد. ولی نشانه های صحرایی همگی دال بر وجود این پتانسیل در خاک منطقه بوده است. بررسیهای انجام شده نشان داده اند که روش استاندارد تعیین پتانسیل تورم پذیری، که در آن ضمن کاربرد رطوبت بهینه، از تراکم دینامیکی برای بازسازی نمونه ها استفاده می شود، این پتانسیل را به طور محسوسی نسبت به روش (ISSMFE) که در آن ضمن کاربرد رطوبت حد انقباض، از تراکم استاتیکی برای بازسازی نمونه ها استفاده می شود، کم تر ارزیابی می نماید. همچنین اختلاف میزان تورم حاصله در دو روش تا ۳/۵ درصد نیز بوده است. آزمایشهای صحرایی انجام شده نیز وجود خاصیت تورم زانی خاک منطقه را، علی رغم قرارگیری آن در رده خاکهای با خمیرانی کم تا متوسط تأیید نمود. بدین ترتیب در این تحقیق ضمن اینکه نشان داده شد که تورم عامل اصلی تخریب پوشش بتنی کانالهای واحد شعبیه می باشد، ثابت گردید که استفاده از روش تراکم استاتیکی و کاربرد رطوبت های کم (حد انقباض) جهت ارزیابی پتانسیل تورم خاکهای منطقه خوزستان، روشی برتر و با کارآئی بیشتر نسبت به روش استاندارد تعیین پتانسیل تورم می باشد. هم چنین در این تحقیق نشان داده شده است که با کاهش مقدار تراکم نسبی خاکریز و افزایش رطوبت خاک کوبی به میزان ۲ تا ۳ درصد بیشتر از حد بهینه می توان به طور مؤثری پتانسیل تورم پذیری خاک مورد مطالعه را کاهش داد.

سازی نمونه به طریق استاتیکی، شباهت و تطابق بهتری با شرایط واقعی تراکم خاکریز بستر کانالها توسط غلنک های متراکم کننده دارد چراکه این ماشین آلات (غلنک های پاچه بزی و یا غلنک های چرخ فولادی صاف) نیز به جای ایجاد صربه، خاک بستر را با فشار استاتیکی متراکم می سازند. بعلاوه در روش تراکم دینامیکی، متراکم ساختن خاک در رطوبت های کم و تهیه نمونه بازسازی شده از آن، بعلت کاهش چسبندگی خاک، عملاً امکان پذیر نبوده و نمونه سریعاً خرد می شود. در حالیکه در روش استاتیکی با توجه به شیوه تراکم، امکان متراکم ساختن خاک در قالبهای تحکیم و بویژه در رطوبت های کم وجود دارد. از طرف دیگر با توجه به اینکه در عمل، رطوبت خاکریز کانالها، بعلت قرار گرفتن در معرض اشعه خورشید و گرمای منطقه، ممکن است شدیداً کاهش یافته و به مقادیر خیلی کم (مثلاً رطوبت حد انقباض یا کمتر) برسد، لذا پس از آب اندازی کانال، رطوبت خاکریز از مقادیر خیلی کم به حد اشباع رسیده و حداکثر پتانسیل تورمی خاکریز بروز مینماید. این مسئله خصوصاً در مناطق گرمسیر، بویژه در خوزستان بعلت حرارت بسیار زیاد آن در تابستان، کاملاً امکان وقوع دارد. بنابر این بنظر میرسد که روش تراکم استاتیکی بعلت ایجاد امکان متراکم سازی خاک در رطوبت های پائین و نیز کیفیت تراکم ایجاد شده، بهتر میتواند پتانسیل تورمی خاک را ارزیابی نماید.

با توجه به مجموعه مطالب مذکور، در این پژوهش دو شیوه تراکم در آزمایش تعیین پتانسیل تورم پذیری برای نمونه های مشابه مورد استفاده قرار گرفته و نهایتاً علل ایجاد ترک خوردگی در پوشش کانالهای آبیاری واحد نیشکر شعبیه علیرغم پیش بینی های متضاد اولیه مورد تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روشها

بررسیهای صحرائی

همانطور که اشاره شد در این قسمت علل و چگونگی ترک خوردگی پوشش بتنی کانالهای آبیاری واحد کشت و صنعت نیشکر شعبیه مورد بررسی قرار می گیرد. این واحد در ۲۰ کیلومتری شرق شهرستان شوشتر قرار گرفته و یکی از هفت طرح بزرگ نیشکر در استان خوزستان است که در حال حاضر عملیات اجرایی آن در جریان

بررسی قرار گرفته و پتانسیل ایجاد تورم در خاکهای با خمیرائی کم تا متوسط و شرایط بروز آن مورد بررسی قرار می گیرد.

روشهای شناسائی خاکهای متورم شونده

در حال حاضر متداولترین روش جهت شناسائی خاکهای متورم شونده روش استاندارد تعیین میزان تورم با استفاده از دستگاه تحکیم (Odometer) می باشد که تحت شماره ASTM - D4546 نامگذاری شده است (۸). در سالهای اخیر انجمن بین المللی مکانیک خاک و مهندسی پی (ISSMFE) با توجه به ویژگی خاص این پدیده، روش دیگری را جهت ارزیابی پتانسیل تورم زائی خاکها ارائه نموده است (۷ و ۱۷). روش کلی کار در هر دو استاندارد شبیه بهم بوده و عمده ترین تفاوت آنها در رطوبت نمونه تهیه شده و شیوه تراکم آن می باشد. در روش ASTM ابتدا خاک در قالب استاندارد پراکتور بصورت دینامیکی (با استفاده از ضربات کوبنده) متراکم شده و سپس نمونه جهت آزمایش تورم در رطوبت بهینه، بازسازی می گردد. در روش ISSMFE ضمن اینکه رطوبت بکار برده شده رطوبت حد انقباض می باشد، برای آماده سازی نمونه به جای استفاده از روش تراکم دینامیکی از تراکم استاتیکی (فشار جک هیدرولیکی)، جهت تراکم نمونه استفاده می گردد.

در هر دو روش، پس از آماده سازی نمونه، حلقه تورم در دستگاه تحکیم قرار داده شده و سپس اشباع می گردد. تغییرات ضخامت نمونه خاک در طول ۲۴ ساعت اندازه گیری شده و مقدار نهائی تغییرات در فشار سر بار یک کیلو پاسکال، بعنوان درصد تورم آزاد نمونه تعیین می شود. سپس با بارگذاری، مقدار تورم خاک به حالت اولیه برگردانده شده و بدین ترتیب فشار تورمی نیز اندازه گیری می شود.

از آنجا که ساختمان و طرز قرار گیری ذرات خاک، تأثیر زیادی بر مقدار تورم آن دارد، به همین دلیل روش تراکم خاک در تهیه نمونه نقش اساسی داشته و تورم نمونه متراکم شده بروش استاتیکی با نمونه متراکم شده بروش دینامیکی متفاوت می باشد. تراکم استاتیکی موجب می شود که ذرات خاک به حالت انبوهی (Flocculent) قرار گیرند. ولی در تراکم دینامیکی ذرات به حالت پراکنده (Dispersed) در می آیند. اصولاً خاک با آرایش انبوهی بیش از خاک با آرایش پراکنده، متورم می گردد (۱۲). روش آماده

آزمایشهای آزمایشگاهی

بمنظور بررسی مشخصات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در ایجاد بستر کانال و نیز بررسی علل بروز ترک خوردگی ها، آزمایشهای متعارف شامل دانه بندی، حدود آتربرگ و تراکم، و تجزیه کامل شیمیایی روی کلیه نمونه ها انجام گردید. برای تعیین رفتار خاک در مقابل آب نیز، آزمایشهای تورم پذیری به دو صورت رطوبت ثابت - دانسیته متغیر و رطوبت متغیر - دانسیته ثابت و آزمایش واگرایی با روش بین هول و روش شیمیایی پیشنهادی رحیمی - دلفی (۱) روی کلیه نمونه ها بعمل آمد. بعلاوه بمنظور تعیین شرایط تراکم خاکریز، تعدادی آزمایش دانسیته صحرائی در نقاط مختلف خاکریز کانالهای آسیب دیده انجام گردید.

آزمایشهای صحرائی

نظر به اینکه بررسی کنندگان مختلف دلایل متفاوتی را در مورد علل اصلی بروز ترک در پوشش کانالها ارائه می کردند و بمنظور تدقیق نتایج بدست آمده از آزمایشهای تورم پذیری در آزمایشگاه، نسبت به ایجاد یک آزمایشگاه صحرائی در واحد کشت و صنعت شعبیه اقدام گردید. جهت تعیین میزان تورم به صورت واقعی، قطعه ای از کانال پوشش نشده و در حال ساخت SC1 در این واحد به طول ۶۰ متر، عرض کف و عمق ۲ متر و شیب جداره ۱/۵:۱ انتخاب و نسبت به ایجاد آب بند در دو طرف آن اقدام شد. سپس تمامی طول قطعه کانال، توسط بتن مگر پوشش داده شده و در ۲۷ متر از طول آن، پوشش بتنی در ۹ قطعه ۳ متری و به ضخامت ۱۰ سانتیمتر اجرا گردید (شکل ۱).

آزمایشهای انجام شده در قطعات شماره ۴، ۵ و ۶ در پوشش بتنی و قطعات شماره ۱۳، ۱۴ و ۱۵ در بتن مگر در ده مقطع شماره ۱ تا ۱۰ انجام یافته است. برای اندازه گیری دقیق تغییر شکل بستر کانال در مقطع عرضی هر قطعه و در فواصل مختلف روی پوشش بتنی و خاکریزهای سمت چپ و راست تا حد اراضی زراعی اطراف، میله های فولادی در اعماق مختلف کوبیده شد. تعداد این میله ها در هر مقطع ۳۴ عدد بوده و عمق استقرار میله ها در مقاطع ۱ تا ۵ پوشش بتنی و ۶ تا ۱۰ پوشش بتن مگر به ترتیب ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ سانتیمتر انتخاب گردید. میله های فولادی بگونه ای در بستر کانال کوبیده شدند که حرکت آزادانه آنها از داخل سوراخ ایجاد شده در پوشش بتنی میسر باشد.

می باشد. احداث کانالهای این پروژه از سال ۱۳۷۲ آغاز گردیده و در سال ۱۳۷۳ ساختمان تعدادی از کانالهای اصلی آن به پایان رسیده است.

پوشش کانالهای این شبکه همگی بتنی بوده و در سطح ۱۲ هزار هکتار گسترده شده است. پس از تحویل تعدادی از این کانالها توسط پیمانکاران، نسبت به آب اندازی در آنها با هدف آبخوئی اراضی اقدام، و سپس جریان آب برای مدتی قطع شده است. مدتی پس از قطع جریان، ترک خوردگی های متعددی در پوشش بتنی کانالهای B1، B2 و ترک خوردگی های ملایمتری نیز در کانالهای SC13 و SC17 و چند کانال دیگر مشاهده شده است. ترک خوردگی پوشش کانالهای SC13 و SC17 حتی قبل از آب اندازی نیز قابل مشاهده بوده است.

تمامی کانالهای آسیب دیده در خاکریزهای کوبیده شده واقع شده اند. به طور کلی عوارض ایجاد شده به صورت ترک های طولی سرتاسری و بالازدگی دالهای بتنی از محل درزهای طولی و عرضی بوده و سمت تخریب عمدتاً در طرفی قرار داشته که تابش خورشید در آن جهت شدیدتر بوده است. ضمناً مدتی پس از آب اندازی در روی خاکریزهای کوبیده شده (سکوی خاکی کنار کانال) ترک های طولی در امتداد موازی با امتداد کانال و با عرض چند میلیمتر تا چند سانتیمتر مشاهده گردید.

بررسیهای بعمل آمده نشان می دهند که وضعیت ظاهری خاکریز بستر و بتن پوشش غالباً مناسب بوده و مشکل خاص فنی در آنها وجود ندارد. کیفیت ظاهری بتن همراه با وضعیت ظاهری درزهای انبساط نیز مناسب بوده است. آزمایشهای دقیق صحرائی و آزمایشگاهی کیفیت مطلوب بتن و عملیات خاک کوبی اجرا شده را نیز باثبات رسانید.

موقعیت ترک های ایجاد شده در پوشش کانالها عمدتاً در یک سوم پائینی از ارتفاع دیواره بتنی کانال قرار داشته است. شدیدترین تخریب ها در قطعه ای از کانال ٪ و عموماً در جریان آب اندازی و پس از اولین سیکل تخلیه نمودن آب و خشک شدن کانال و بستر آن بوقوع پیوسته است. با توجه به نوع تخریب در این شبکه و یکنواختی آن، تعدادی نمونه خاک از خاکریز بستر کانال ٪ و منبع قرضه موجود در منطقه برای انجام آزمایشهای آزمایشگاهی برداشت گردید.

مشاهدات انجام شده نشان دادند که این ترک ها مستقیماً به حرکت جبهه رطوبتی در خاکریز مربوط می باشند، زیرا امتداد ترک ها دقیقاً تا محلی که رطوبت بداخل خاکریز نفوذ کرده بود ادامه داشته و به محض رسیدن به جبهه رطوبتی امتداد ترک ها ناپدید گردیده است. هدف از تخلیه کانال بعد از ۶۵ روز، تعیین رفتار خاکریز پس از حذف فشار سربار ناشی از وزن آب بود و مقرر گردید که پس از دو هفته کانال مجدداً آب اندازی شود تا شدت برگشت پذیری تورم کنترل شود. پس از تخلیه کانال همانطور که انتظار می رفت، بعثت حذف فشار سربار ناشی از وزن آب، تا چند روز بعد از تخلیه کانال، بالا آمدگی میخ ها با توجه به اشباع بودن خاک همچنان ادامه یافت. در هفته سوم، پس از تخلیه آب، روند کاهشی ارتفاع میخ ها آشکار گردید. متأسفانه در اواخر سومین هفته بعد از تخلیه آب، بارندگی های پراکنده ای در منطقه بوقوع پیوست و عملاً باعث بر هم زدن نظم بالا آمدگی ها در سطح خاکریز شد. بهمین دلیل بعد از گذشت حدود ۱۰۵ روز از شروع آزمایشهای صحرایی، بعثت وقوع بارندگی های شدید عملیات نقشه برداری متوقف و نتایج مورد تحلیل نهائی قرار گرفتند.

ارائه نتایج آزمایشهای آزمایشگاهی و صحرایی

نتایج آزمایشهای شناسائی، نمونه های خاک مورد آزمایش را از نوع ریزدانه و از جنس رس لای دار با طبقه بندی CL مشخص نمود. همچنین مقدار ریز دانه خاک بطور متوسط در حدود ۹۰ درصد (۵۰ تا ۵۸ درصد آن لای و بقیه رس) تعیین گردید. حد روانی نمونه های خاک بین ۳۰ تا ۳۸ درصد و شاخص خمیرائی بین ۸ تا ۱۶ درصد و عدد فعالیت آنها نیز بین ۰/۲۱ تا ۰/۳۶ بدست آمده است. مشخصه های خمیری نمونه های آزمایش شده حکایت از این دارد که کانی غالب در این نمونه ها عمدتاً کائولینیت و ایلیت بوده و خاک منطقه از خمیرائی و فعالیت کم تا متوسط برخوردار است. آزمایشهای شیمیائی نشان دادند که میزان گچ موجود در خاک کمتر از ۱ درصد است که عملاً به غیر مخرب بودن این عامل در بستر خاکی کانالهای منطقه اشاره دارد. نتایج آزمایشهای واگرائی با دوروش پین هول و روش شیمیائی پیشنهادی رحیمی - دلفی (۱)، عدم وجود پتانسیل واگرائی در خاکهای منطقه را اثبات می نماید.

همانطور که گفته شد در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات

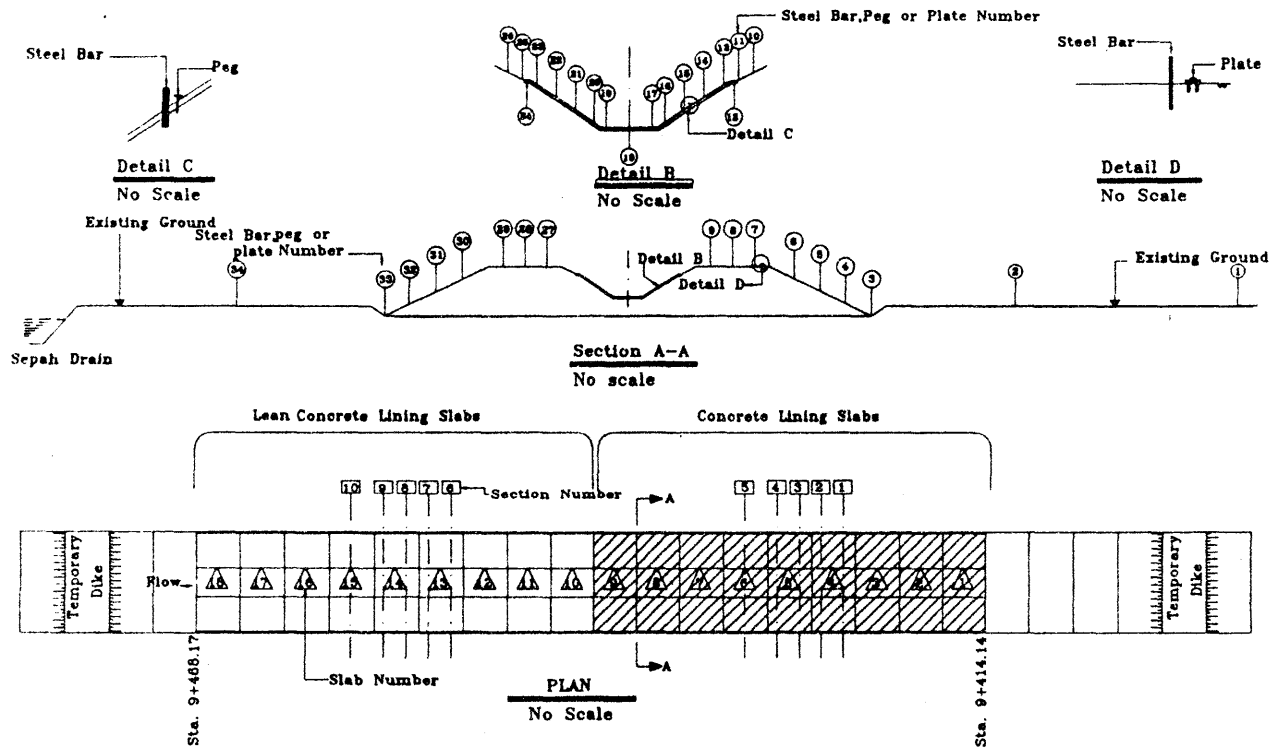
برای تعیین برآیند رفتار خاک (تورم احتمالی) در فاصله ۱۰ سانتی متری از میله های فولادی پوشش بتنی هر یک از مقاطع، یک سری میخ نجاری، و در همین فاصله از میلگرد های قسمتهای بتن مگر و قسمتهای خاکی تعدادی صفحه فولادی بمنظور نقشه برداری نقاط روی سطح پوشش نصب گردید (به جزئیات B، C و D در شکل ۱ رجوع شود). پس از انجام عملیات فوق، عملیات نقشه برداری برای تعیین رقوم دقیق این میله ها قبل از آب اندازی کانال انجام شد. سپس عملیات آب اندازی در این قطعه در تاریخ ۷۴/۶/۲۴ آغاز و دستورالعمل نقشه برداری کلیه میله ها و نیز ثابت نگاه داشتن سطح آب درون کانال صادر گردید.

سطح آب در این قطعه از کانال بمدت ۶۵ روز ثابت نگاهداشته شد و عملیات نقشه برداری هر روز یکبار در ساعت معینی انجام گردید. پس از این مدت یعنی از تاریخ ۷۴/۸/۲۷ به بعد بتدریج آب کانال طی ۷ روز خالی شد و عملیات نقشه برداری مرتباً و بصورت یکروز در میان ادامه یافت. در هفته اول پس از آب اندازی قرائت میخ ها افزایش سریعی در ارتفاع را نشان داد و در هفته های دوم و سوم، این افزایش، شدت کمتری داشت و پس از آن، همزمان با پیش روی جبهه رطوبتی به سمت خاکریز مقدار تورم و بالا آمدگی نیز کندتر گردید و نهایتاً ۶۵ روز پس از آب اندازی به یک حد ثابت رسید. بطور کلی نتایج قرائت های نقشه برداری بیشترین مقدار بالا آمدگی را مربوط به میخ شماره ۱۳ (لبه فوقانی پوشش بتنی در جبهه رو بجنوب) نشان داد و در میخهای کوبیده شده در خاکریز در محل های دور از کانال و در فاصله زیاد از جبهه رطوبتی هیچگونه تورمی مشاهده نگردید. اندازه گیری ها همچنین نشان داده اند که مقدار تورم با افزایش عمق استقرار میخ، کاهش یافته است. نتایج بدست آمده نشان می دهند که مقدار حداکثر بالا آمدگی در میخ شماره ۱۳ (جبهه رو بجنوب) نسبت به میخ متناظر خود در طرف مقابل کانال در یک مقطع مشخص (میخ شماره ۲۳) در جبهه رو بشمال بیشتر بوده است. ۲۰ الی ۳۰ روز بعد از آب اندازی، ترک های طولی و سرتاسری در سکوی خاکی سمت چپ و راست کانال ظاهر گردید.

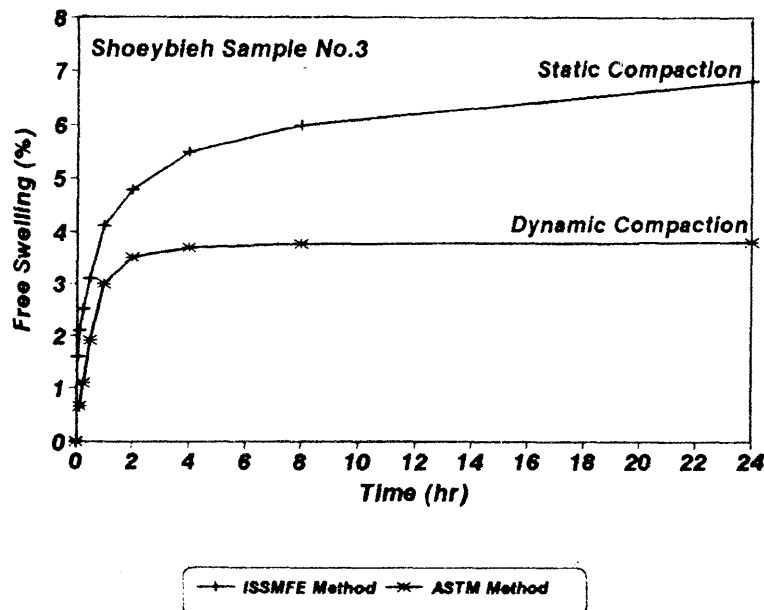
این ترک ها کاملاً سرتاسری و دارای امتداد طولی بموازات لبه کانال بوده اند. برای تعیین چگونگی و عمق گسترش این ترک ها، اقدام به شکافتن خاکریز و ردیابی ترک های ایجاد شده گردید.

آزمایشهای تورم با استفاده از این روش انجام شده است. شکل شماره 2 مقایسه میزان تورم آزاد یکی از نمونه های این واحد را براساس دو روش تراکم دینامیکی و تراکم استاتیکی نشان می دهد. همچنین شکلهای شماره (3 و 4) نتایج اندازه گیری درصد تورم آزاد

مقدار تورم با توجه به تغییرات مقدار تراکم نسبی و تغییرات میزان رطوبت در هنگام خاک کوبی، دوسری آزمایش تورم با رطوبت ثابت - دانسیته متغیر و رطوبت متغیر - دانسیته ثابت انجام گردید. باتوجه به تطابق بیشتر تراکم استاتیکی با شرایط صحرائی، کلیه



شکل 1 - نقشه نمای بالا و مقطع میخ کوبی در قطعه ای از کانال SC1 واحد شعبیه



شکل 2 - مقایسه میزان تورم آزاد یک نمونه خاک با دو روش ASTM (تراکم دینامیکی) و SSMFE (تراکم استاتیکی)

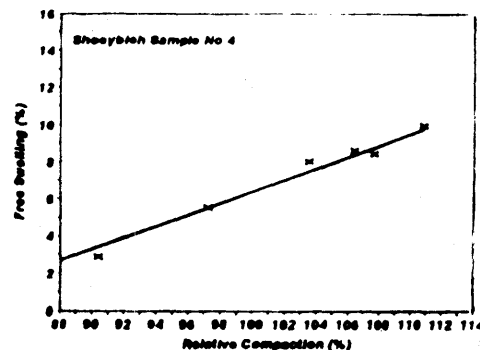
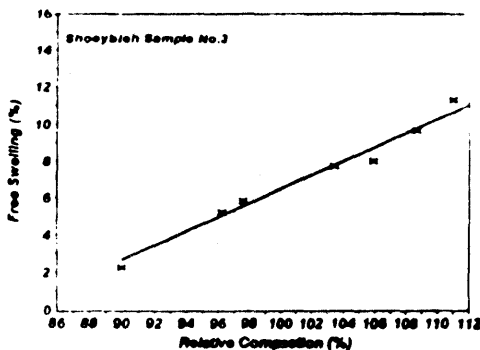
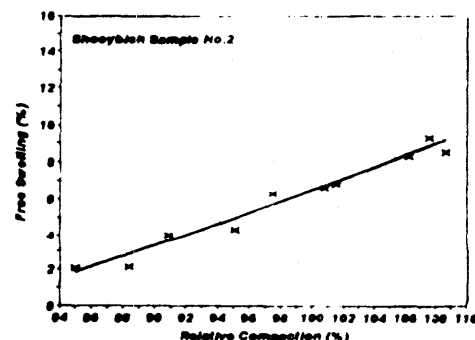
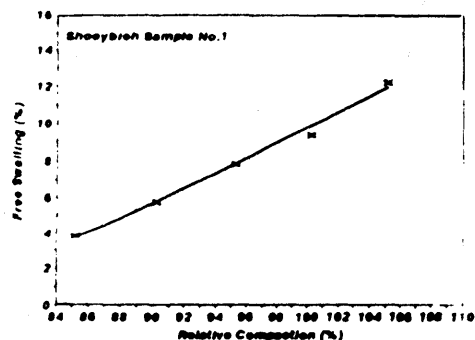
نمائی و لگاریمی کنترل و روابط و منحنی هائی بدست آمده است که در شکلهای شماره (۳ و ۴) نشان داده شده اند. براساس این روابط، ارتباط میزان تورم و تراکم نسبی، یک رابطه کاملاً خطی بوده و همبستگی این خط در سطح ۹۹ درصد معنی دار می باشد. ارتباط بین تورم و رطوبت یک رابطه غیرخطی است که در رطوبتهای کم دارای شیب نزولی ملایم و در رطوبتهای بالا دارای شیب نزولی تند می باشد.

جهت کنترل اثر فرآیند خشک و تر شدن یکی سری آزمایش بر روی یکی از نمونه های خاک انجام یافته است. در انجام این آزمایشها ابتدا مقدار تورم در یک شرایط ثابت رطوبتی و تراکمی بدست آمده است و سپس نمونه ها در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد (درجه حرارت متعارف گرمای خوزستان در تابستان) خشک و مجدداً در دستگاه تورم قرار گرفته و مقدار تورم آنها در سه مرحله تکرار، اندازه گیری شده است. (شکل ۵) نتایج این آزمایش را نشان می دهد. همانطور که از این نمودار برمی آید، پس از سه دوره تر و خشک شدن مقدار تورم حاصله بطور متوسط حدود ۶ درصد کاهش یافته است.

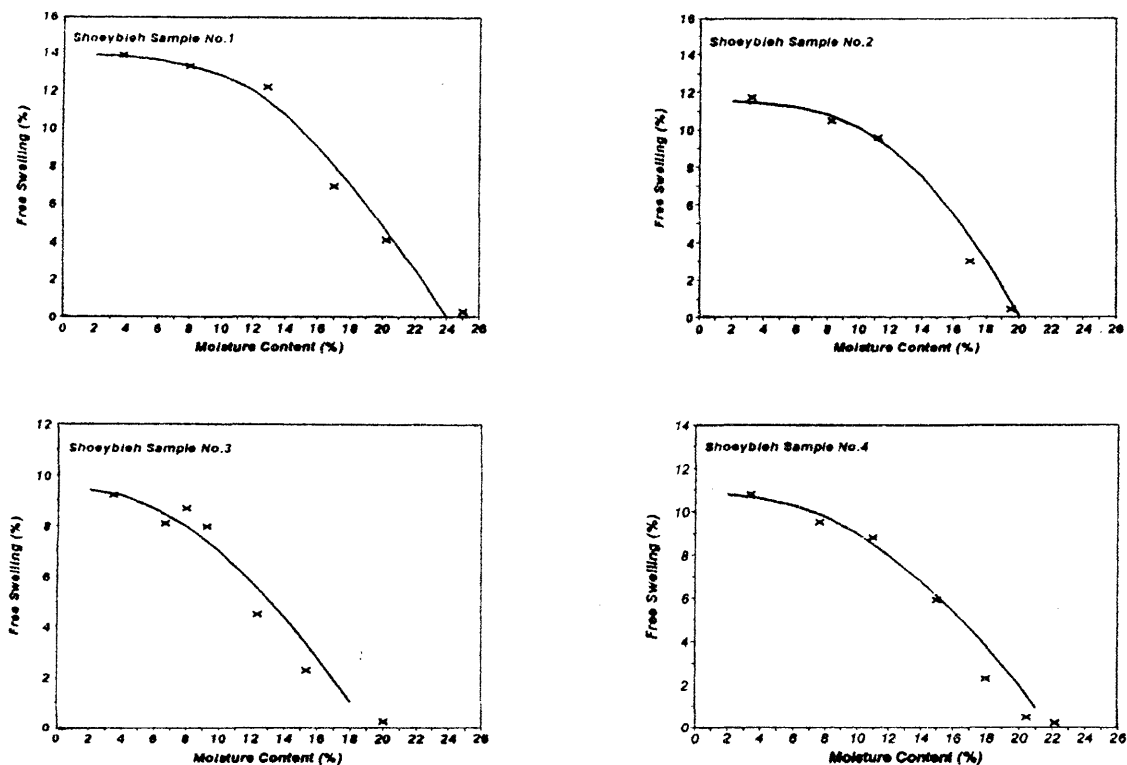
نمونه های مورد بررسی را در مقایسه با تغییرات مقدار تراکم و رطوبت آنها نشان می دهند.

همانطور که از این شکلها مشهود است، مقدار تورم نمونه های خاک، علیرغم این نکته که کانی غالب در آنها ایلیت و کائولینیت بوده و خاک از خمیرائی کم تا متوسط برخوردار میباشد، نسبتاً زیاد و قابل ملاحظه است و برای بعضی از نمونه ها به حداکثر ۱۲ درصد نیز می رسد. همچنین نتایج بدست آمده برای تمامی نمونه ها نشان می دهند که با افزایش مقدار تراکم نسبی، قابلیت تورم زائی خاکها افزایش یافته و با افزایش میزان رطوبت تراکم، این قابلیت کاهش می یابد. بطور کلی چنانچه تراکم نسبی ۹۵ درصد بعنوان معیار بکار برده شده برای کوبیدن خاک بستر کانالهای مورد بررسی فرض شود، با توجه به نتایج بدست آمده، تمامی نمونه ها دارای پتانسیل تورمی بیش از ۴ درصد می باشند و این بیانگر این نکته است که پوششهای بتنی حتماً در این تراکم نیز در خطر آسیب نسبی، قرار داشته اند.

برای برقراری یک رابطه منطقی بین قابلیت تورم و میزان تراکم و رطوبت بکار رفته در هنگام خاک کوبی، نتایج بدست آمده از آزمایشهای تورم با مدلهای مختلف آماری و رگرسیونهای خطی،



شکل ۳ - تغییرات میزان تورم بر حسب درصد تراکم نسبی نمونه های مورد بررسی



شکل ۴ - تغییرات میزان تورم برحسب درصد رطوبت نمونه های مورد بررسی

کانالها را بشرح زیر تحلیل نمود:

الف - چنانچه خاکریز کانال مدت زیادی بدون پوشش در مقابل نور خورشید و گرما رها شود، پس از انجام پوشش و قبل از آب اندازی، بعلت تجمع رطوبت بر اثر نیروی موئینگی، ممکن است تورم بوقوع پیوسته و موجب ترک خوردگی پوشش شود. این پدیده در پوشش کانالهای SC17 و SC13 مشاهده شده است.

ب - پس از آب اندازی کانال، نشت آب از بتن و محل درزها به خاکریز، باعث افزایش حجم ذرات خاک و بروز پدیده تورم می گردد. چنانچه درزها بخوبی آب بندی شده باشند و نشت آب فقط از طریق بتن انجام پذیرد، بروز تورم، در فاصله زمانی بیشتری رخ می دهد.

پ - همزمان با جذب رطوبت توسط ذرات خاک، فشارهای تورمی در خاکریز بوجود می آید. نظر به اینکه بروز تورم در هر منطقه با حرکت جبهه رطوبتی توأم است و این جبهه رطوبتی همیشه از محل پوشش بتنی (بر اثر تجمع رطوبت و نشت آب از کانال) آغاز می گردد، بنابراین فشارهای تورمی ابتدا از زیر پوشش بتنی آغاز شده و بتدریج در تمامی خاکریز توزیع می گردد. عدم یکنواختی در توزیع

آزمایشهای انجام شده برای تعیین مقدار دانسیته صحرائی خاکریزهای کوبیده شده بستر کانال، تراکم نسبی این خاکریزها را در بعضی نقاط تا ۱۰۵ درصد و حتی بیشتر نیز نشان داده که همین امر سبب افزایش پتانسیل تورم زائی آنها گردیده است.

نتایج آزمایش های صحرائی نیز وجود قابلیت تورم در خاکریز کانالهای منطقه شعبیه را تأیید می نماید. (شکل ۶) حداکثر میزان بالا آمدگی مربوط به میخ شماره ۱۳ را در اعماق مختلف نسبت به زمان، برای قسمت با پوشش بتن و بتن مگر نشان می دهد. همچنین در (شکل ۷) برای مقایسه، مقدار حداکثر بالا آمدگی در دو میخ شماره ۱۳ (جبهه رو به جنوب) و شماره ۲۳ (جبهه رو به شمال) نشان داده شده است. همانطور که از این شکل مشهود است میخ شماره ۱۳ که در معرض تابش شدیدتر اشعه خورشید قرار داشته، تورم بیشتری را نسبت به میخ شماره ۲۳ نشان داده است.

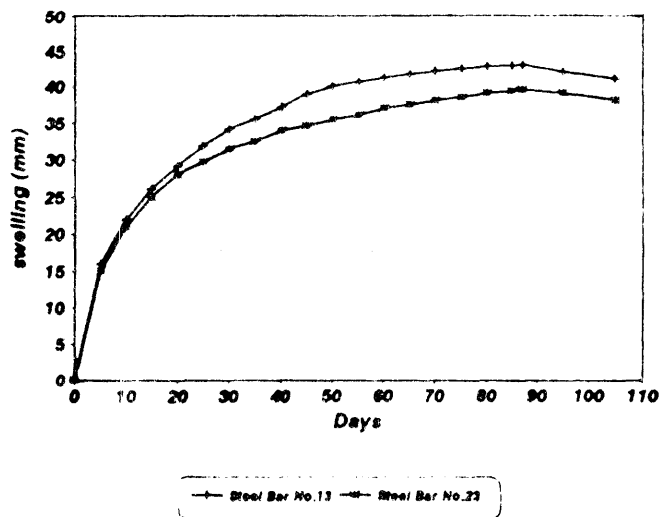
نتایج و بحث

باتوجه به نتایج بدست آمده از آزمایشهای آزمایشگاهی و صحرائی انجام شده میتوان علل بروز ترک خوردگی پوشش بتنی

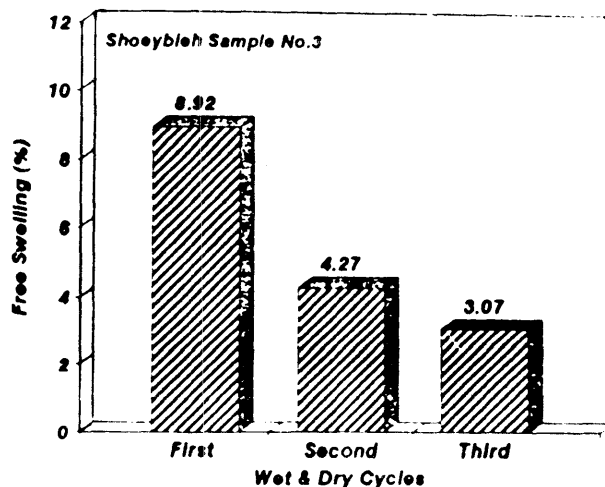
این فشار در زیر پوشش بتی کانال باعث ایجاد ترک های طولی عمیق در خاکریز و پوشش می گردد. (شکل ۸) مقطع عرضی و پلان این ترکها را بصورت شماتیک و (شکل ۹) مقادیر حداکثر بالا آمدگی در نقاط مختلف نیمی از مقطع عرضی پوشش بتی و بتن مگر قطعه کانال مورد آزمایش را نشان می دهند.

ت - چنانچه شدت تابش اشعه آفتاب به یک سمت خاکریز بیشتر از سمت دیگر باشد (مثل شیب های رو به جنوب)، تبخیر شدیدتر، باعث افزایش انقباض و در نتیجه افزایش کشش موئینگی و پتانسیل جذب آب در آن سمت شده و نهایتاً پتانسیل تورم رائی آن را نسبت به سمت دیگر افزایش می دهد. همانطور که در (شکل ۱۰) مشاهده می گردد، سکوی سمت راست قطعه آزمایشی کانال SC1 که در معرض تابش شدیدتر خورشید قرار داشته، بیشترین مقدار بالا آمدگی را نشان می دهد. بدین ترتیب میتوان نتیجه گرفت در کانالهائی که معمولاً جهتی شرقی - غربی دارند، جبهه رو به جنوب آنها بیشتر در معرض تخریب ناشی از انقباض و تورم خاکریز قرار دارد.

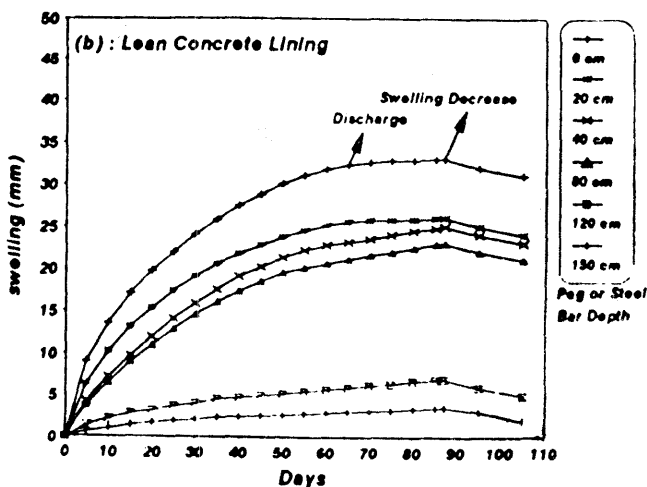
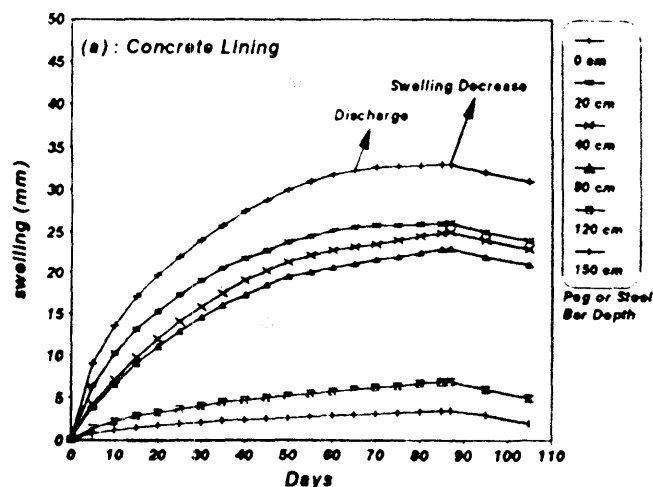
ث - بعنوان یک اصل، فشار ناشی از تورم می تواند در تمامی جهات انتشار یابد، اما در مقطع یک کانال با توجه به وزن سربار، موقعیت خط نشن و جبهه رطوبتی در خاکریز و نیز وزن آب داخل کانال، بیشترین فشار به پشت پوشش و لبه فوقانی آن اعمال می شود که نهایتاً بدلیل درگیر بودن قسمت تحتانی پوشش بتی و آزاد بودن قسمت فوقانی آن، دال بتی سمت داخل کانال خم می شود. بدین ترتیب در سطح بتن، تنشهای خمشی نسبتاً شدیدی بوجود آمده و چنانچه تاب خمشی



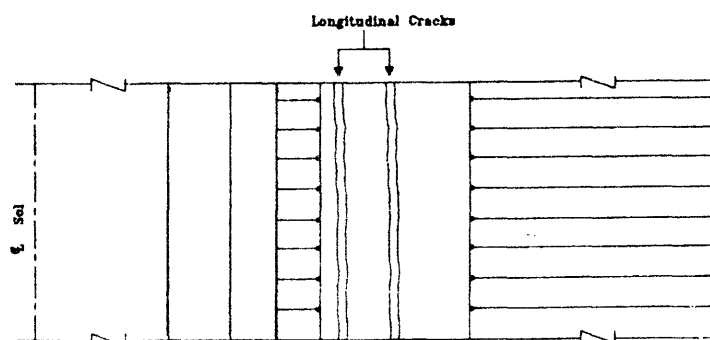
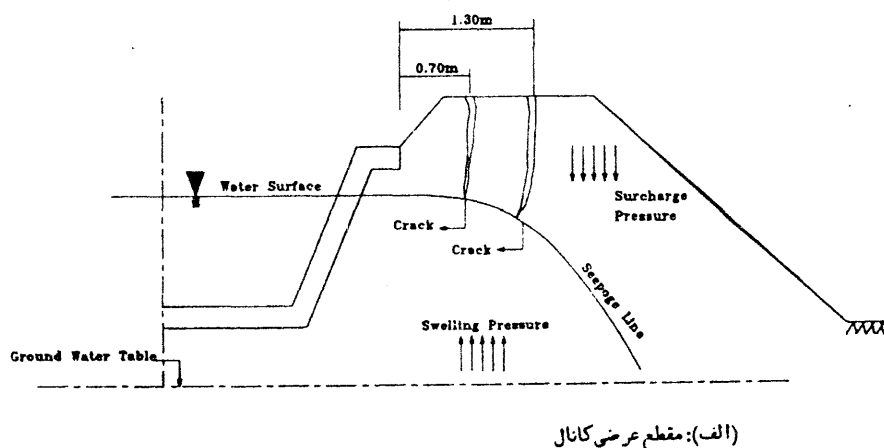
شکل ۷ - مقایسه تغییرات مقدار تورم خاکریز در جبهه های جنوبی و شمالی بر حسب زمان (میخهای ۱۳ و ۲۳)



شکل ۵ - تاثیر سیکلهای ترو خشک شدن یک نمونه خاک بر روی مقدار تورم



شکل ۶ - تغییرات مقدار تورم خاکریز برای میخهای منفرد در اعماق مختلف بر حسب زمان (میخ ۱۳)



شکل ۸ - نحوه ایجاد ترک در خاکریز خاکهای متورم شونده (با استفاده از نتایج آزمایش صحرایی)

یافته به خاکریز پشت کانال و بویژه پس از تخلیه سریع کانال نیز می تواند مؤثر باشد. اما با توجه به مقادیر فشار تورمی در مقایسه با فشار هیدرواستاتیکی آب، اهمیت بسیار کمتر آن آشکار می شود. ج - نتایج جمع آوری اطلاعات صحرایی از محل ترکها در جداره کانالهای بتنی، موید این مطلب است که اگر درز طولی تحتانی کانالها در حوالی یک-سوم پائینی جداره های بتنی کانال ایجاد شود، ترک های حاصله به این درزها منتقل گردیده و بدین ترتیب خسارت های حاصله بنحوی محسوس قابل کنترل و جلوگیری خواهند بود. چ - بطور کلی نتایج این بررسی نشان می دهد که در صورت فراهم آمدن شرایط مناسب، حتی خاکهای با پتانسیل تورم پذیری کم تا متوسط (مثل خاکهای منطقه مورد بررسی) از پتانسیل تورم پذیری کافی برای ایجاد تخریب در پوشش کانالها برخوردارند. بویژه که روش استاتیکی ایجاد تراکم و کاهش رطوبت خاکریز و انقباض ناشی از آن در مناطق گرم، این پتانسیل را بنحو قابل ملاحظه ای افزایش

بتن نتواند این تنشها را تحمل نماید، پوشش بتنی ترک می خورد. این فرآیند همچنین در لبه فوقانی کانال باعث بالا آمدگی و احتمالاً ایجاد فاصله بین پوشش و سطح خاک بستر می گردد (شکل ۱۰). از آنجا که بطور معمول منطقه فعال تورم در عمق حدود ۲ تا ۳ متری زیر سطح زمین قرار دارد، در کف کانال بعلت توزیع یکنواخت تر رطوبت، فشار تورمی یکنواختی نیز بوجود می آید و معمولاً مقداری از آن با فشار ناشی از وزن آب موجود در کانال خنثی می گردد. اما در پشت پوشش بتنی جدار کانال بعلت اثر غیر یکنواخت سربار، توزیع فشار تورمی یکنواخت نبوده و در نتیجه در قسمتهای نزدیک به کف باعث ایجاد ترک (بعلت درگیر بودن پوشش) و در لبه فوقانی باعث بالا آمدن پوشش می گردد. همانطور که مشاهدات صحرایی نیز نشان داده است، محل وقوع کلیه ترکها تقریباً در یک سوم پائینی جداره بتنی و نزدیکتر به کف کانال می باشد، که با تحلیل فوق مطابقت دارد. بدیهی است که در ایجاد ترکهای طولی پوشش، نقش فشار آب نشت

از رطوبت بهینه توصیه گردید. بررسیهای بعدی نشان داد که این توصیه های ساده بخوبی توانسته اند تورم خاکریزها را مهار نمایند، بگونه ای که در کانالهای پوشش شده با این دستور العمل تا این تاریخ هیچگونه ترک خوردگی مشاهده نشده است.

خلاصه نتایج

بر اساس مطالعات انجام شده و بررسیهای بعمل آمده در این تحقیق می توان نتایج حاصله را بشرح زیر خلاصه نمود:

- یکی از مشکلات اساسی پوششهای بتنی در خاکهای رسی، پتانسیل پنهان یا پنهان تورم این خاکها می باشد.

- روش تعیین پتانسیل تورم با استفاده از تراکم استاتیکی روشی است که می تواند به نحو مطلوبتری پتانسیل پنهان تورم را ارزیابی کند و در مناطق گرم و خشک بر روش استاندارد تعیین تورم (ASTM) برتری دارد.

- میزان تورم خاک با درصد تراکم نسبی آن رابطه مستقیم خطی و با درصد رطوبت خاک کوبی رابطه معکوس غیر خطی دارد، بگونه ای که با افزایش تراکم نسبی و کاهش رطوبت، پتانسیل تورم پنهان خاک افزایش می یابد.

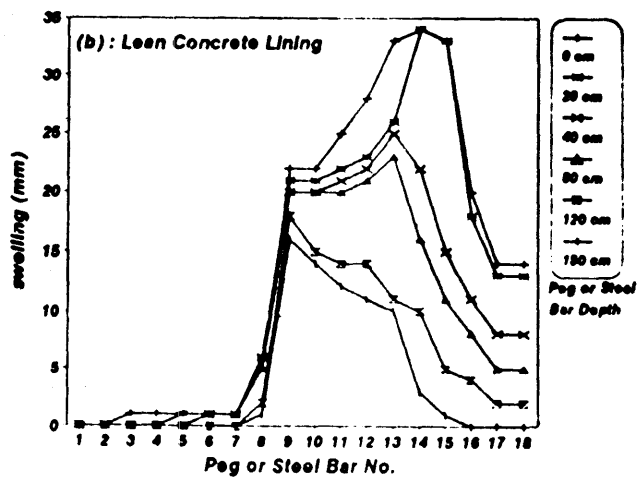
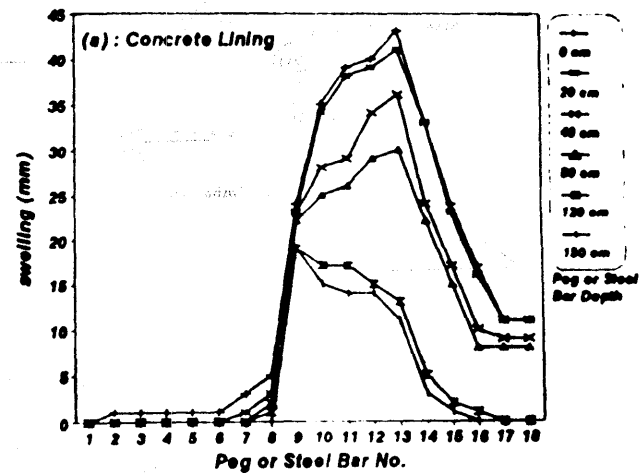
- اگر چه میزان تورم خاکهای حاوی کانی های ایلیت و کائولینیت نسبت به خاکهای حاوی کانی مونتوریلونیت کمتر است، ولی پتانسیل تورم پنهان این کانی ها نیز در صورت فراهم بودن شرایط، می تواند قابل توجه و خطر آفرین باشد.

- آرایش مناسب درزها در پوشش بتنی کانالها می تواند به میزان قابل توجهی آسیبهای وارده به آنها را محدود و کنترل نماید.

- از آنجا که وجود فشار آب منفذی در پشت پوششهای بتنی و در شرایط تخلیه سریع کانال، باعث تشدید فشارهای واردر بر پوشش می گردد، لذا در مرحله بهره برداری باید این واقعیت نیز مورد توجه قرار گرفته و بویژه چنانچه در پشت پوشش از فیلتر استفاده نشده باشد، باید سرعت تخلیه آب کانال را تا حد کافی برای تخلیه فشار آب منفذی کاهش داد.

- بهترین و ارزانه ترین راه مقابله با تورم در خاکهای با خمیرائی کم تا متوسط کاهش مقدار تراکم نسبی و افزایش رطوبت خاک کوبی است. بهتر است قبل از اجرای پوشش بتنی، کانال آب اندازی شده و خاک بستر از رطوبت اشباع شود.

- تورم پدیده ای است که برگشت پذیری آن با افت همراه است و از

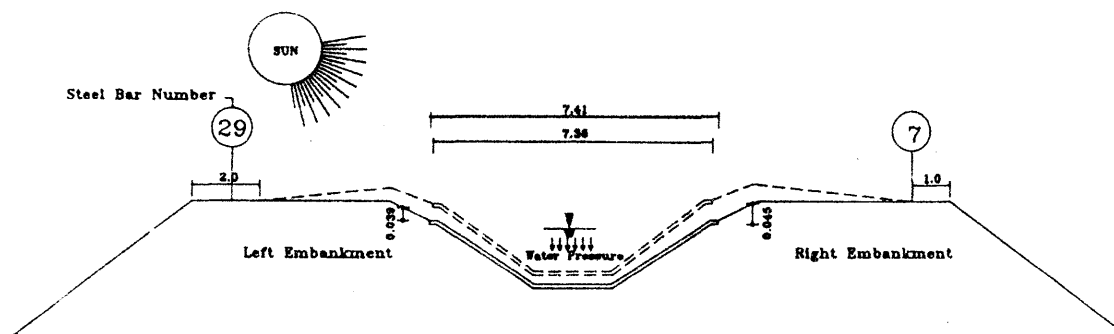


شکل ۹ - تغییرات مقدار تورم خاکریز برای میخهای ۱ تا ۱۸ مقاطع عرضی کانال در عمق مختلف

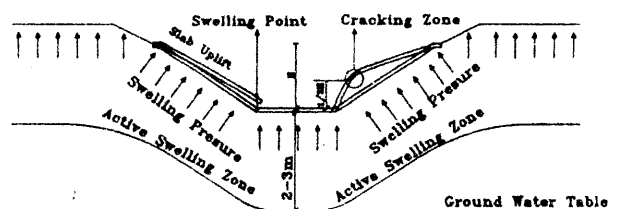
می دهد.

با توجه به مجموعه موارد فوق میتوان نتیجه گرفت که علت اصلی ترک خوردگی پوشش بتنی کانالهای شعیه، پتانسیل پنهان تورم زائی خاکریزهای رسی با خمیرائی کم تا متوسط در این واحد می باشد که بعلت نامناسب بودن نوع آزمایشهای انجام شده در مرحله مطالعات و طراحی، پیش بینی این پتانسیل امکان پذیر نبوده است ضمن اینکه فشار آب پشت پوشش در هنگام تخلیه سریع نیز می تواند باعث تشدید نیروهای تورمی و افزایش شدت تخریب گردد.

برای مقابله با خاکهای متورم شونده روشهای مختلفی وجود دارد که در این طرح با استناد به نتایج آزمایش های انجام شده و با توجه به شرایط کار، کاهش مقدار تراکم نسبی خاک بستر به حدود ۹۰ درصد و افزایش رطوبت خاک کوبی بمیزان ۲ تا ۳ درصد بیشتر



(الف) فرآیند بالابردگی



(ب) نحوه ایجاد ترک در پوشش بتنی

شکل ۱۰ - فرآیند تخریب در پوشش بتنی کانالها در اثر تورم (با استفاده از نتایج آزمایش صحرایی)

از مساعدهای معاونت پژوهشی دانشگاه تهران و دانشکده کشاورزی در این مورد قدردانی نمایند.

مؤلفین هم چنین از مسئولان و مهندسان شرکت توسعه کشت نیشکر و صنایع جانبی و شرکت مهندسین مشاور آبخوان بخاطر فراهم آوردن تسهیلات لازم برای انجام آزمایشهای صحرایی تشکر می نمایند.

این مطلب می توان در پیش بینی رفتار پوشش بتنی کانالهای آبیاری پس از اولین آب اندازی و بروز تورم ناشی از آن استفاده نمود.

سپاسگزاری

این مقاله نتیجه بخشی از یک طرح تحقیقاتی است که با حمایت مالی دانشگاه تهران انجام یافته و مؤلفین وظیفه خود می دانند

REFERENCES

مراجع مورد استفاده

- ۱- رحیمی، ح. و م. دلفی، «روشهای تشخیص رسهای واگرا در سازه های آبی و بررسی کارایی آنها در منطقه خوزستان»، پایان نامه، دانشگاه تهران، ۱۳۷۱.
- ۲- شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، «بررسی علل ایجاد ترکهای طولی در پوشش بتنی کانالهای آبیاری طرح کشت و صنعت نیشکر شعبیه و پیشنهاد راههای مقابله با آن»، جلد دوم.
- ۳- عسکری، ف. و ع. فاخر، «تورم و واگرایی خاک از دید مهندس ژئوتکنیک»، ۱۳۷۲.
- ۴- قاضی نور، ا. «مکانیک خاکهای قابل تورم»، مهندسان مشاور سانو.
- ۵- مهندسان مشاور سانو، «بررسی نواقص ایجاد شده در بتن کانالهای شعبیه»، ۱۳۷۳.
- ۶- مهندسین مشاور تهال، «جدار داخلی بتنی کانالها در خاک رس قابل توسعه»، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، نشریه شماره ۱، ۱۳۴۹.
- ۷- نویسی، م. «ارزیابی آزمایشگاهی فشار تورمی و مقدار تورم ناشی از آن در خاکهای تورم زا با استفاده از درصد تورم و تنش کلی اعمال شده»، ترجمه و تلخیص، انجمن مکانیک خاک و مهندسان پی ایران.

- 8- ASTM Standards , "Annula Book" , 1993 , Volume 408 .
- 9- Bara , J . P . "Controlling the Expansion of Dessicated Clays During Construction " .
- 10- FAO , "Irrigation Canal Lining" , Irrigation and Drainage Paper No . 2 , Rome , 1983 .
- 11- Fourie , A . B . "Laboratory of Lateral Swelling Pressure" , Journal of Geotech Eng. Vol .115 , 1987 .
- 12- Gromko , G . J . "Review of Expansive Soils" , Journal of Geotechnical Engineering ,ASCE , Vol 100 , 1974 .
- 13- Kanwar Sain , " Canal Lining in India" , International Commission on Irrigation and Drainage , Third Congress , New Dehli .
- 14- Neill , M . W . O . and N . Poormoayed , "Methodology for Foundations on Expansive Clays " , Journal of Geotechnical Engineering , 1980 .
- 15- Rama Rao , R . and H . Rahardio , "Closed Form Heave Solution for Expansive Soils" Journal of Geotech Eng , Vol , 114 , No.5 , 1988 .
- 16- Swan , C . H . "Middle East Canal and Irrigation problems" , ACI Journal , Technical Paper January - February 1985 .
- 17- Technical Committee on Expansive Soils (TC6) of ISSMFE , "Standard Evaluation of Swelling Pressure and Corresponding Heave of Expansive Soil in Laboraory by Constructing Swell Percentage Versus Applied Total Stress Diagram " .
- 18- USBR , "Concrete Manual" , Mac Graw Hill , Newyourk , 1975 .
- 19- USBR , "Earth Manual" , 1974 .
- 20- USBR , "Linings for Irrigation Canals" , Denever , 1963 .

Cracking of Concrete Canal Linings Due to Hidden Swelling Potential

H.RAHIMI AND SH.BAROUTCOUB

Associate Professor and Graduate Student , Respectively ,Department of Irrigation and Reclamation , College of Agriculture, University of Tehran , Karaj, Iran.

Accepted 29 Oct.1996.

SUMMARY

Failure of concrete irrigation canal linings in the forms of cracking, rupture , uplifting and opening of joints , causes loss of water and money in many countries . Following appearance of extensive cracking of concrete linings in Shoeybich Sugar Cane Industries Unit in khoozestan province ,Iran , extensive research programs were conducted to find the main reasons . In this paper the final results of the researches are presented.

The testing program consisted of laboratory as well as field tests, including identification , chemical and mechanical tests of soil samples taken from the borrow pits and canal embankments . Dispersivity tests were performed using pin- hole and chemical methods and swelling tests were conducted using ASTM standard and ISSMFE method. The field test includes the measurement of deformations of the concrete lining and embankment of an actual lined canal with a length of 60 m , due to filling by water . The deformations were recorded by surveying of the elevations of steel bars driven to different depths under canal lining and at different points of canal and its embankment sections.

The results of laboratory tests showed that the soil is low to medium plastic with a classification of CL-ML , having less than one percent soluble content, and being nondispersive. Swelling tests conducted by ASTM and ISSMFE methods showed completely different results. ISSMFE method resulted in high free swell potential ,while ASTM method indicated a low to medium potential,The results of full scale field tests were all in favor of ISSMFE method. The great difference between the results of two methods was found due to the different compaction methods as well as the moisture content of the soil sample being prepared for swell tests . While , in ASTM method, the sample is compacted by dynamic effort , at optimum water content , in ISSMFE method compaction is done using static effort and a low water content near the shrinkage limit. Therefore , two main factors causing discrepancy between the results of the two methods, i.e., the type of compaction and moisture content are responsible for difference in the structures of the samples being tested and finally different behaviour upon water absorption. The flocculent structure and lower compaction water content of soil sample in ISSMFE method would result to much higher free swell. Similarity between compaction methods used in the field and static effort used in ISSMFE method , as well as very low soil water content of the canal embankments during lining operation, are the main reasons for swelling of the soil and finally cracking of the concrete linings.

The overall results of the field and laboratory experiments showed that even soils of low to medium plasticity have a high swelling potential when dessication and shrinkage occur due to high temprature and aridity , as it is the case for Khoozestan province . Experiments proved that lower relative density (less than 95%) and compaction in the wet side of optimum water content (about 2 to 3 percent) can effectively control the swelling potential . The research has also proved the superiority of ISSMFE method for evalaution of swelling potential in hot - arid zones like Southern parts of Iran.