بررسی علل تخریب پوشش بتنی در برخی از کانالهای شبکه های آبیاری و زهکشی استان خوزستان

شهرام باروتکوب دزفولی[1] عبدالله عساکره[2]

(۱) مدیر عامل شرکت مهندسی پژ آب نگار – کارشناس ارشد تأسیسات آبیاری

(۲) مدیر امور اجرایی و نظارت شرکت بهره برداری کرخه و شاوور – کارشناس آبیاری

بررسی علل تخریب پوشش بتنی در برخی از کانالهای شبکه های آبیاری و زهکشی استان خوزستان

شهرام باروتکوب دزفولی[1] **عبدالله عساکره**[2]

چکیده

به منظور بررسی علل تخریب های بوجود آمده در تعدادی از کانال های بتنی شبکه های آبیاری اوان ، ویس ، کرخه و مارون طرح تحقیقاتی حاضر ، برنامه ریزی و اجرا گردید . این طرح ضمن بهره گیری از تحقیقات انجام شده قبلی در این خصوص ، سعی دارد ضمن ارائه دیدگاه کلی از مسئله پوششهای بتنی و علل تخریب های حادث شده در آنها بصورت اختصاصی و موردی علل مشکلات پیش آمده در شبکه های مورد بررسی را نیز ریشه یابی و بازگو نماید .

بر این اساس و جهت حصول به این هدف ، ابتدا بررسی های مقدماتی ،جمع آوری اطلاعات و بازدیدهای صحرائی لازم از طرحهای مورد بررسی بعمل آمده ، محل های آسیب دیده شناسائی ، مشخصات عمومی آسیب در هر محل بصورت مجزا تعیین ، مشخصات عمومی کانال های آسیب دیده جمع آوری و از خاکریز محل های تخریب نمونه گیری شده است . پس از این مرحله جهت تعیین فرآیندهای تخریب ضمن انجام آزمایشهای شناسائی نظیر دانه بندی ، هیدرومتری ، حدود آتربرگ ، تراکم و آزمایشهای شیمیائی نظیر تعیین کلیه املاح محلول ، PH و غیره ، آزمایش تورم بوسیله دستگاه تحکیم نیز انجام شده است .

پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات بدست آمده صحرائی و آزمایشگاهی و تلفیق آنها ، می توان اذعان داشت که عمده ترین عامل تخریب در طرحهای مورد بررسی در کوتاه مدت مسائل ناشی از شرایط ژئوتکنیکی خاکریز کانال ها نظیر تورم و وجود املاحی نظیر گچ در آن می باشد . ضمن اینکه این بررسی ها نشان می دهد که سایر عوامل نظیر واگرائی خاکها ، کیفیت بد اجرا ، مصالح مصرفی نامناسب ، روشهای نامناسب بهره برداری و نگهداری در دراز مدت باعث تخریب پوششهای بتنی خواهند شد .

واژه های کلیدی : پوشش بتنی ، تورم زائی ، درز انقباض ، تخریب ، ترک ، کانالهای آبیاری

---

(۱) - مدیر عامل شرکت مهندسین مشاور پژ آب نگار – کارشناس ارشد تأسیسات آبیاری

(۲) - مدیر امور اجرایی و نظارت شرکت بهره برداری کرخه و شاوور – کارشناس آبیاری

۱- مقدمه :

با توجه به روند رو بـه رشـد کـاربرد پوششـهای بتنـی در کشـور ، طبیعتـاً مشـکلاتی در زمـان اجـرا و یـا در هنگـام بهره برداری و نگهداری بوقوع پیوسته که مهمترین آنها ایجاد ترک ، تخریب و شکاف در این پوششها بوده است . مقالـه حاضـر به منظور ارائه نتایج تحقیقات انجام شده بر روی شبکه های آبیاری اوان ، کرخه ، ویس و مارون و به منظور بررسی علل وقـوع این آسیب ها ، تدوین شده است :

بطور کلی شناخت کافی محل های تخریب شـده طـرح هـای مـورد بررسـی ، تحلیـل جـامع از عوامـل بوجـود آورنـده تخریب ها و ارائه راه حل های مؤثر و عملی برای جلوگیری از بروز اینگونه آسیب ها ، همراه با توجیه های لازم برای روش های طراحـی ، اجـرا ، بهـره بـرداری و نگهـداری از کانـال هـای آبیـاری بـا پوشـش بتنـی ، اهـداف اصـلی ایـن تحقیـق را در بر می گیرد . جدول زیر اطلاعاتی از طرحهای مورد بررسی را ارائه می نماید .

جدول (۱) – موقعیت و سطح تحت پوشش طرحهای مورد بررسی

نام طرح	موقعیت	سطح ناخالص(هکتار)	سطح خالص (هکتار)
اوان	شهرستان اندیمشک	۱۲۹۲۰	۱۰۹۸۵
ویس	شمالشرق اهواز	۵۲۰۰	۴۶۸۰
مارون	شهرستان بهبهان	۱۳۵۰۰	۱۱۰۰۰
کرخه	بخش حمیدیه اهواز	۱۸۲۰۰	۱۵۸۰۰

۲-پیشینه پژوهش :

بیشترین عواملی که در تخریب پوششهای بتنی کانالهای آبیاری نقش دارند ، شامل مسائل مربوط به بستر ، نظیر تورم، واگرائی ، شسته شدن مواد محلول ، نشست و فرسایش بستر ، مسـائل مربـوط بـه جسـم کانـال نظیـر طراحـی هیـدرولیکی و ساختمانی ، عوامل محیطی نظیر تغییرات شدید درجه حرارت و عوامل مربوط به اجرا ، بهره برداری و نگهداری نظیـر اسـتفاده غلط از جاده های دسترسی و سرویس این کانالها می باشد . تعدادی از این عوامل اثر تخریبی مستقیم داشته و تعـدادی دیگـر به طور غیر مستقیم در ایجاد خسارت مؤثرند . در ادامه تحقیقات انجام شـده قبلـی در خصـوص نقـش عوامـل عمـده تخریـب پوشش های بتنی نظیر واگرائی ، تورم ، خاکهای حاوی گچ ، عوامل محیطی و غیره عنوان شده است .

۲-۱- تحقیقات انجام شده قبلی در خصوص نقش تخریبی خاکهای واگرا :

واگرائی پدیده ای است که طی آن خاکهای رسی واگرا (Dispersive) در مجاورت آب ، نیـروی جاذبـه میـان ذره ای خود را از دست داده و یکدیگر را دفع می کنند . دلیل اصلی فرسایش رسها در اثر پدید واگرائی ، بیشـتر شـدن نیـروی دافعـه الکتریکی از نیروی جاذبه واندروالسی (میان ذره ای) در بین آنها می باشد .

اگر چه گزارشهائی راجع به تخریب پوششهای بتنی خاکها در اثـر وجـود خاکهـای واگـرا در دسـت اسـت ولـی عمـدتاً بیشترین مسائل ناشی از این خاکها در خصوص سدهای خـاکی مطـرح مـی باشـد . نخسـتین بـار در سـال ۱۹۳۰ ، میـدلتون (Middleton) [۳] پدیده واگرائی را یکی از عوامل مؤثر در فرسایش خاکهای ریزدانه معرفی کرده و بالا بـودن درصـد امـلاح سدیم را در خاکهای واگرا یکی از مهمترین ویژگیهای آنها دانسته است . در سالهای ۱۹۳۵ تا ۱۹۳۸ ، فولک (Volk) [۳] نیز واگرائی خاکها را دلیل اصلی بسیاری از خرابیهائی دانست که در سدهای خاکی کوچک و بندها و خاکریزها طراحی شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) مشاهده شده بود [۳]. در خلال سـالهای ۱۹۶۰ تـا ۱۹۷۰ ، تحقیقـاتی کـه عمـدتاً در استرالیا و بر روی علل تخریب سدهای خاکی کوتاه انجام گرفت بـه شـناخت بهتـر رسـهائی کـه بسـهولت شسـته مـی شـوند

(Erodible Clays) منجر گردید . در سالهای ۱۹۶۵ ، وود و ایکیسان (Wood and Aitchison) [۳] پدیده فرسایش درونی (رگاب) را در سدهای کوتاه با در نظر گرفتن اثر نوع خاک ، نسبت جذب سدیم (SAR) و میزان املاح آب موجود در خاک مورد بررسی قرار دادند . در سال ۱۹۶۹ (Ingle and Aitchison) [۳] نتایج بررسی خود را در زمینه نحوه تأثیر شیمی آب و خاک در پدیده واگرائی و همچنین تأثیر درزها و ترکها در آب شستگی های داخلی عرضه کردند . در خلال سالهای ۷۲-۱۹۷۱ شرارد و چندین تن از محققان دیگر ، اثر پدیده فرسایش درونی را در سه دسته از سازه های خاکی شامل یک بند خاکی با طول زیاد که به منظور کنترل سیلاب ساخته شده بود ، تعدادی از سدهای خاکی کوتاه که آنها نیز به منظور کنترل سیلاب بنا شده بودند و تعدادی سدهای مشابه دیگر بعمل آورند .

در تحقیقاتی که رحیمی و دلفی بر روی خاکهای واگرا در منطقه خوزستان بعمل آوردند ، ضمن اینکه روش پین هول را بعنوان بهترین روش مستقیم تعیین قابلیت واگرائی خاکها معرفی نمودند ، دیاگرامی جهت ارزیابی غیر مستقیم (شیمیائی) خاکهای واگرا با توجه به PH ، هدایت الکتریکی عصاره اشباع (Ece) و نسبت جذب سدیم (SAR) ارائه نمودند [۲] . مهمترین تحقیقاتی که در زمینه موضوع خاص این پژوهش انجام پذیرفته ، مربوط به مقاله رحیمی تحت عنوان مسائل سازه های آبی در خاکهای شور(مطالعه موردی – شبکه آبیاری گتوند) می باشد . بر اساس مطالعات انجام شده در این تحقیق ضمن اینکه یکی از مشکلات اساسی سازه های آبی در خاکهای شور و گچی ، ایجاد پدیده واگرائی به عنوان عاملی جهت ناپایداری خاک شناخته شده ، وجود کاتیون سدیم و میزان نسبی آن در نمکهای موجود در خاک علت اصلی واگرائی خاکها معرفی شده است . همچنین در این تحقیق روش تعیین کیفی واگرائی توسط دستگاه پین هول و تجزیه شیمیائی، بعنوان دو روش مطمئن و سریع پیشنهاد گردیده است [۱].

۲-۲- تحقیقات انجام شده قبلی در خصوص نقش تخریبی خاکهای متورم شونده :

خاکهای متورم شونده خاکهائی هستند که به سبب جذب آب ، ازدیاد حجم یافته و اصطلاحاً متورم می شوند . فشار ناشی از تورم این خاکها می تواند موجب خرابی کامل ساختمان های سبک وپوشش کانالهای آبیاری و کفسازیها و غیره شود . این نوع خرابی ها در بسیاری از پروژه های داخلی و خارجی گزارش شده است . دونالسن بدنبال جستجوئی که حوالی سال ۱۹۷۰ بر روی پراکندگی این خاکها در جهان انجام داد ، طی مقاله ای اعلام کرد که این خاکها در ۱۸ کشور جهان از جمله ایران گزارش شده اند [۳].

توجه به مسأله خاکهای قابل تورم و خسارات ناشی از آن در حدود سال ۱۹۵۰ آغاز شد . در این زمان پروژه های خانه سازی بزرگی در آمریکا در حال انجام بود که ضمن عملیات اجرائی به موارد حادی از تورم خاک برخورد شد که باعث زیانهای فراوان گردیده بودند . آماری که در آمریکا طی سالهای اخیر جمع آوری شده نشان داده که خسارات مالی ناشی از تورم خاکها ، از مجموع خسارات مالی ناشی از سیل و زلزله بیشتر بوده است [۱].

در یکی از تحقیقات انجام شده در منطقه فلسطین بر روی یک کانال ۱۷ کیلومتری در بیت نتوفا ، نتایج جالبی بدست آمده است [۱]. خاکریز این کانال متشکل از خاک رس با قابلیت تورم بسیار بالا بوده که در نقاطی باعث تخریب ساختمانهای اولیه کانالهای احداث شده ، گردیده است . دراین تحقیق طرحهای مختلفی جهت مقابله با پدیده تورم خاکریز پیشنهاد شد که در نهایت ، یک جدار بتنی به ضخامت ۸ سانتیمتر روی یک قشر آسفالتی به ضخامت ۸ میلیمتر با موفقیت اجرا گردید [۱].

بارا (J.P.Bara) با بررسی هائی که بر روی رس های متورم شونده بستر یکی از کانالهای منطقه سنت لوئیز (Saintluis) در آمریکا انجام داد ، نتیجه گرفت که برای خاکریزهای رسی رابطه ای بین مقدار تورم و رطوبت خاک کوبی ، دانسیته خشک و حد روانی خاک وجود دارد که می توان با روشهای آماری ساده این ارتباط را بدست آورد [۷]. همچنین او نشان داد که جهت مقابله با خاصیت تورم زائی خاک ، برای خاکی با حد روانی ۴۰ درصد ، رطوبت خاک کوبی بایستی ۲۳ درصد باشد و برای خاکی با حد روانی ۱۰۰ درصد ، رطوبت خاک کوبی تا ۳۷ درصد نیز باید افزایش یابد . همچنین وی یکی از روشهای مناسب جهت کاهش پتانسیل تورم خاک را ، پیش مرطوب کردن خاکریز بوسیله غرقاب کردن آن ، دانسته است .

در ایران نیز در سالهای اخیر ، بعلت مسائل بوجود آمده در پوشش بتنی کانالها در اثر تورم خاکریزهای رسی ، بررسی ها و تحقیقاتی پراکنده ای در این خصوص بعمل آمده است . در سال ۱۳۷۳ و در پی بروز تخریب هائی در پوشش بتنی کانالهای تازه احداث شده واحد کشت و صنعت شعبیه ، شرکت مهندسان مشاور سانو ، طی گزارشی ، ضمن اینکه تورم خاکریزها را علت اصلی تخریب این کانالها دانسته تأثیر شرایط محیطی ، نظیر درجه حرارت بالای منطقه و بالا بودن سطح آب زیر زمینی را نیز مد نظر قرار داده است [۱]. همچنین دراین گزارش ، عنوان گردیده که با اضافه نمودن آهک یا آب آهک و یا مخلوط کردن خاکهای دانه ای ، از قبیل ماسه بادی و یا مخلوط شن و ماسه با خاک محل ، میتوان مقدار زیادی از قابلیت تورم خاک را کاهش داد.

در بررسی های جامع انجام شده توسط ح. رحیمی و ش. باروتکوب تحت عنوان بررسی علل تخریب پوشش بتنی کانالهای آبیاری در استان خوزستان ضمن توصیه روش اندازه گیری تورم با استفاده از دستورالعمل انجمن بین المللی مکانیک خاک و مهندسی پی* (ISSFME) به جای روش ASTM ، مقایسه های متعددی در خصوص رابطه تورم با رطوبت خاکریزی ، تراکم ، نحوه تراکم ، تر و خشک کردن جسم خاکریز انجام شده و گراف ها و فرمول هائی درخصوص مشخصه های مکانیکی خاک نظیر ، حدود آتربرگ ، درصد تراکم نسبی و غیره ارائه گردیده است . ضمن اینکه با ایجاد یک کارگاه صحرائی ، نحوه تورم جسم خاکریز و پوشش بتنی در قطعه ای از یک کانال در یکی از طرحهای مورد بررسی و نحوه ایجاد تخریب نشان داده شده است [۱].

۲-۳- تحقیقات انجام شده قبلی در خصوص خاکهای حاوی گچ و سایر نمکهای انحلال پذیر :

گچ در مناطق خاورمیانه در حد گسترده وجود دارد . در صورت تماس جریان آب با گچ در اثر فرآیند انحلال ، حجم خاک کاهش یافته و منجر به ایجاد نشست می گردد . همچنین انحلال گچ ممکن است قسمتی از اسکلت خاک را حرکت داده و مقدار آب موجود در خاک را افزایش دهد که این امر خود منجر به کاهش مقاومت برشی خاک میگردد .

در بررسی های ن.الرفاعی ، مشکل اساسی اراضی حوزه رودخانه فرات در سوریه ، وجود خاکهای گچی و در پی آن نشت آب از میان درزهای کانالهای بتنی و ایجاد نشست و ترک خوردگی و غیره ، عنوان گردیده است [۱]. طبق بررسیهای اتحادیه هیدروگرافیکال رودخانه ابرو در اسپانیا ، اثرات مکانیکی تولید سوراخ و گودال در کانالهائی که در خاکهای گچدار ساخته شده اند ، بیش از اثرات شیمیائی ناشی از انحلال مواد در آبهای آبیاری می باشند . در تمام موارد علت اصلی خسارت حاصله رخنه و تماس آب با خاک گچدار عنوان شده است [۱]. در شوروی سابق ، کانالهای بتونی منطقه اندیجان ، بعلت آب شستگی زیر پی در خاکهای گچدار فرو نشسته و زیانهائی به بار آورد . در ایران در پروژه اصفهان بعد از انجام پوشش های بتنی در خاکهائی که دارای مقداری گچ بوده اند ، ترکهائی در پوشش ایجاد شده است [۱].

همچنین آهک در شرایط معمولی نه تنها ضرری برای خاکریز کانالهای آبیاری ندارد بلکه با ایجاد خاکدانه (Aggregate) باعث تثبیت خاک ، کاهش پتانسیل واگرائی و تورم و افزایش مشخصه های مقاومتی خاک می گردد . با توجه به خواص انحلال پذیر این ماده (هر چند که بسیار کم است) ، چنانچه در معرض مستقیم آب برای مدت طولانی که معمولاً این مدت بیش از عمر مفید سازه است ، قرار گیرد ، ممکن است خطر شسته شدن خاکریز را در دراز مدت به همراه داشته باشد که معمولاً اهمیت چندانی ندارد [۱].

۲-۴- تحقیقات انجام شده قبلی در خصوص سایر عوامل مؤثر در تخریب پوشش های بتنی :

وجود خاکهای رمبنده (Collapsible) ، خاکهای سست و غیر متراکم ، خاکهای حاوی مواد آلی و اراضی ناپایدار عمدتاً در شیب ها از جمله عوامل دیگری هستند که می توانند در پوشش کانالهای بتنی تولید خسارت نمایند . پدیده

* - International society of soil mechanics and foundation engineering

رمبندگی ، فرآیندی است که طی آن و در اثر جذب آب توسط ذرات خاک نیروهای مولکولی بین این ذرات طی مکانیزم های متفاوتی نظیر نرم شدگی اتصالات رسی (Softening) از بین رفتن نیروی جاذبه مولکولی بین ذرات ، حذف نیروی مکش در اثر اشباع شدن و غیره ، از بین می رود . احداث سازه های آبی در چنین خاکهائی همیشه مشکل ساز بوده است ولی گزارش هائی در مورد تخریب پوششهای بتنی در اثر وقوع این پدیده خصوصاً در منطقه خوزستان وجود ندارد . به هر حال عمده ترین عامل صدمه زدن به سازه های آبی در این خاکها از بین رفتن مقاومت خاک بوده که احتمالاً رخداد رمبندگی با تخریب کلی نیز ممکن است همراه باشد [۱]. از عوامل دیگری که باعث ایجاد خسارت در پوششهای بتنی می گردد ، می توان به وجود خاکهای سست و غیر متراکم بدلیل مقاومت پائین ، خاکهای حاوی مواد آلی به دلیل رفتاری که در اثر واکنش های محیطی نشان می دهند و ناپایدار بودنشان ، اشاره داشت .

شرایط آب و هوائی و اقلیمی منطقه ، کیفیت آبهای جاری در کانال ، وضعیت آبهای زیرزمینی ، شدت بارش و نحوه توزیع آن ، وجود تپه های ماسه ای روان ، عوامل پیش بینی نشده مانند سیل و زلزله و بسیاری مسائل دیگر که بصورت منحصر بفرد در مناطق مختلف وجود دارند ، نیز همگی از جمله عواملی هستند که میتوان آنها را به پیرامون و محیط کانال احداث شده مرتبط دانست . شاید بتوان مهمترین عامل از مجموعه فوق را تأثیر تغییرات درجه حرارت بر روی تشدید پتانسیل تورم زائی خاکهای رسی و ایجاد تنش های حرارتی در بتن پوشش کانالها دانست [۱ و ۹].

عوامل محیطی دیگری نیز وجود دارند که بسته به شرایط محلی یک منطقه بروز می نمایند . بعنوان مثال بادهای ماسه روان یکی از مشکلات بزرگ کانالها بالاخص قبل از فصل آبیاری می باشند . برای مثال در استان سیستان و بلوچستان بادهای معروف به ۱۲۰ روزه در چهار ماه از سال میوزند که باعث به حرکت در اوردن و انتقال مقادیر زیادی رسوبات به داخل کانالها میباشند [۱].

۳-روش انجام پژوهش :

جهت آگاهی از روند تخریب پوشش های بتنی کانال های آبیاری طرحهای مورد بررسی ، اقدام به جمع آوری اطلاعات و داده های صحرائی گردید . در این رابطه ابتدا با مسئولین بهره برداری شبکه های آبیاری مذاکرات سودمندی بعمل آمد و سپس با توجه به اطلاعات بدست آمده ، بازدیدهای صحرائی لازم از کانال های آبیاری انجام شد . پس از جمع بندی های لازم ، محل هائی برای جمع آوری اطلاعات ریزتر و جزئیاتی نظیر محل ، نوع و ابعاد دقیق ترک یا تخریب ، وضعیت اجرایی ، بهره برداری و نگهداری کانال و برم ها و غیره انتخاب گردید که از اطلاعات بدست آمده در نتیجه گیری علل و عوامل تخریب استفاده شد .جدول (۲) فهرست کانال ها در طرحهای مورد بررسی را نشان می دهد .

جدول (۲) : فهرست کلی کانالهای بتنی طرحهای مورد بررسی

نام طرح	نام کانالهای اصلی	تعداد کانالها	طول کلی (متر)
اوان	MCP,MCP1,PC1,PC2,PC3,PC4	۶	۴۶۱۸۳
ویس	MC , MS1 , MS1-1 , MS2 , MS3 , MS3-1 MS4 , RC , P1, P1S1 , P1S2 , P1S3 , P1S4 , P1S5 , P1S6 , P5 , P5S1 , P5S2 , P5S3	۱۷	۶۳۱۸۸
مارون	A,B,C,D	۴	۵۵۵۹۸
کرخه	ML,A,A1,A2,A3,B,C,D,D1,D2,ML1,E,F,G,MR,H, و کانال قدس ، کانال سازمان و KC1,KC2,KC3,KC4,RBMC,	۲۳	۱۵۷۹۹۱

۳-۱- آزمایشهای آزمایشگاهی :

با توجه به بررسی های بعمل آمده و تجارب قبلی ، این نتیجه حاصل گردید که شایع ترین علل تخریب پوششهای بتنی در طرحهای مورد بررسی در درجه اول ناشی از عوامل مربوط به جسم خاکی نظیر تورم ، واگرائی و نشست خاکریز در کانالها می باشد . بنابراین از خاکریز کانالهای مورد بررسی در بارزترین محلهای تخریب ، نمونه هائی جهت انجام آزمایش های آزمایشگاهی برداشت گردیده و سپس آزمایشهای فیزیکی و مکانیکی نظیرآزمایشهای شناسائی ، تعیین رطوبت طبیعی خاک ، تعیین چگالی ذرات جامد خاک ، آزمایش دانه بندی ، آزمایش تعیین حدود روانی (LL) ، خمیری(PL) و انقباض (SL) ، آزمایش تراکم ، آزمایش تعیین پتانسیل واگرائی و آزمایش تعیین تورم آزاد انجام شد همچنین آنیونها و کاتیونهای متعارف خاک ، EC عصاره اشباع و میزان گچ و آهک نیز تعیین گردید .

در تعیین معیارهای فیزیکی و شیمیایی فوق استانداردهای متداول (عمدتاً ASTM) بکار رفته و جهت تعیین پتانسیل واگرائی از روش رحیمی–دلفی استفاده شده است . در این روش سه معیار هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (Ece) ، نسبت جذب سدیم (SAR) و درجه اسیدیته (PH) عصاره اشباع خاک مورد توجه قرار گرفته است و با توجه به اهمیت عوامل فوق الذکر ، استفاده از معیارهای شیمیائی بصورت یک نمودار پیشنهادی آورده شده که این نمودار خاکها را به سه دسته فرسایش پذیر ، مقاوم به فرسایش کلوئیدی و حالت بینابینی تقسیم کرده است[۲] .

همچنین بر اساس مطالعات انجام شده توسط رحیمی و باروتکوب بر روی مسئله تورم خاکهای رسی ، بهترین روش تعیین پتانسیل خاکهای رسی جسم کانالهای آبیاری ، روش انجمن بین المللی مکانیک خاک و پی (ISSFME) [۱۰] عنوان گردیده است [۱] . در این تحقیق نیز ضمن بهره گیری از مطالعات انجام شده قبلی ،جهت تعیین پتانسیل تورمی نمونه های مورد بررسی ، از روش مذکور استفاده شده است . روش یاد شده در کلیه مراحل به جز آماده سازی نمونه شباهت زیادی به روش ASTM [۵] دارد . در این روش بجای انجام عمل تراکم توسط قالب استاندارد پروکتور ، پیشنهاد گردیده ضمن کاربرد رطوبت حد انقباض نمونه های خاک در حلقه های تورم قرار داده شده و عمل تراکم بوسیله فشار استاتیکی جک های مخصوص ، انجام پذیرد بدین ترتیب پس از تعیین وزن واحد حجم خاک مرطوب و خاک خشک ، مابقی روال آزمایش همانند روش ASTM طی می گردد . در این تحقیق برای تراکم نسبی ۹۵٪ به روش پروکتور استاندارد ، که عمدتاً در خاک کوبی های خاکریز کانال ها بکارمی رود ، مقدار وزن واحد حجم خاک خشک تعیین شده است . سپس با در دست داشتن وزن واحد حجم خاک خشک و مقدار رطوبت که در این حالت رطوبت آزمایشگاهی خواهد بود ، مقدار وزن واحد حجم خاک مرطوب و در پی آن وزن خاک مرطوب جهت انجام عمل تراکم بدست آمده است . پس از قرار دادن مقدار معینی از خاک در حلقه تورم و انجام عمل تراکم بوسیله فشار استاتیکی جک مخصوص ، نمونه ها در دستگاه تورم (تحکیم) قرار داده میشود .

تراکم استاتیکی (روش ISSFME) موجب می شود که ذرات خاک به حالت انبوهی (Flocculent) قرار گیرند . ولی در تراکم دینامیکی (روش ASTM) ذرات به حالت پراکنده (Dispersed) در می آیند و اصولاً خاک با ذرات قرار گرفته بصورت انبوهی بیش از خاک با ذرات پراکنده ، متورم می گردد [۱] . روش آماده سازی نمونه به طریق استاتیکی ، شباهت و تطابق بهتری با شرایط واقعی تراکم خاکریز بستر کانالها با غلتک های متراکم کننده دارد چرا که این ماشین آلات (غلتک های پاچه بزی یا غلتک های چرخ فولادی صاف) نیز به جای ایجاد ضربه ، یک فشار ایستائی در هر نقطه از مسیر حرکت به بستر خاک وارد می نمایند . از طرف دیگر روش ISSMFE به علت اینکه می توان در رطوبتهای خیلی پائین (حد انقباض) ، پتانسیل تورمی خاک را اندازه گیری نمود ، ارجح تر می باشد . ضمن اینکه مقادیر تورم نمونه های خاک در این روش حداکثر پتانسیل تورمی خاک می باشد.

۳-۲-آزمایشهای صحرایی :

علاوه بر بررسی ها ، بازدیدها و جمع آوری اطلاعات صحرایی ، جهت ارزیابی و نقش تغییر محل درزهای طولی کانالها ، در یکی از کانالهای اصلی در دست اجرا واحد کشت و صنعت نیشکر دهخدا ، محل درزهای طولی تغییر داده شد . این تغییر در طی مراحل مختلف اجرا ، پس از اجرا و پس از آب اندازی مورد بازدید و بررسی قرار گرفته و در نهایت بهترین محل درزها که توانسته ترک های طولی را در خود هدایت نماید ، انتخاب گردید .

۴-داده ها ، مشاهده ها و نتایج :

در بخش قبل نوع و نحوه انجام آزمایشهای آزمایشگاهی فیزیکی ، شیمیایی و مکانیکی خاک تشریح گردید که در ادامه نتایج این آزمایشها برای نمونه های خاک در طرحهای مختلف آورده شده است . جدول (۳) موقعیت و تعداد نمونه های خاک برداشت شده در طرحهای مورد بررسی را نشان میدهد ،طرح اوان سه نمونه ، طرح ویس دو نمونه ، طرح مارون سه نمونه ، طرح حمیدیه سه نمونه و یک نمونه مشاهده ای از طرح دهخدا گرفته شده و نتایج آنها مورد استفاده قرار گرفته است .

جدول (۳) : موقعیت و تعداد نمونه های خاک برداشت شده در طرحهای مختلف

نام طرح	نام کانال	محل یا کیلومتراژ برداشت نمونه
اوان	PC2 PC2 PC4	۳+۴۱۲ (برم چپ) ۱+۲۴۰(برم چپ) ۴+۵۰۰(برم چپ)
ویس	MS4 MS4	مجاور دریچه T2(برم چپ) مجاور دریچه T8(برم راست)
مارون	D A A	۳+۹۰۰ ۶+۰۰۰ (بلورهای گچی) ۴+۰۰۰
کرخه	MR ML1 قدس	۱۳+۲۰۰ (برم راست) مجاور چک ۱۲ (برم چپ) مجاور آبپخش جلیزی
دهخدا	WMC	۱۸+۵۰۰

۴-۱-نتایج آزمایشهای آزمایشگاهی :

جدول(۴) نتایج اندازه گیری حدود روانی و خمیری ، عدد فعالیت ، رطوبت بهینه ، حداکثر وزن واحد حجم خاک و رده بندی مکانیکی خاک به روش یونیفاید را نشان می دهد . همانطور که از این جدول پیداست ، غالباً خاکهای مورد آزمایش در رده CL (خاک رس با خمیرائی پائین) قرار گرفته اند و عدد فعالیت آنها عمدتاً کمتر از یک برآورد شده است . همچنین این جدول نتایج آزمایش تراکم نمونه های مختلف را نشان می دهد .

آزمایشهای تعیین املاح محلول بر روی خاکهای مناطق مختلف انجام و نتایج آن به همراه قابلیت واگرائی خاکها در جدول (۵) آورده شده است . همانطور که در این جدول مشاهده میشود ، تمامی نمونه های مورد آزمایش در رده مقاوم به فرسایش کلوئیدی و بینابین واقع شده و عمدتاً خطری از این جنبه پوششهای بتنی کانالها را تهدید نمی کند .

جدول (۶) میزان سایر املاح شیمیایی خاک نظیر گچ ($SO4Ca , 2 H2O$) ، آهک ($CO3Ca$) و آنیونهای متعارف خاک را نشان می دهد . نتایج بدست آمده مقدار گچ موجود نمونه ها را در برخی کانالها برای پوشش بتنی بسیار بالا و خطر آفرین نشان می دهد . از جمله می توان به نمونه های گرفته شده از کانال A شبکه آبیاری مارون اشاره داشت که شواهد صحرائی و تخریب های بوقوع پیوسته این امر را کاملاً تأیید می نماید .

جدول (۷) نتایج اندازه گیری تورم آزاد نمونه های خاک و فشار تورمی آنها را بر اساس روش انجمن بین المللی مکانیک خاک و پی (ISSFME) نشان می دهد . اعداد بدست آمده از میزان تورم اندازه گیری شده ، عمدتاً بین ۳ تا ۸ درصد بوده که بیانگر خطر آفرین بودن این پارامتر در پوششهای بتنی کانال های مورد بررسی بوده است . در ادامه علل و عوامل تخریب پوشش های بتنی و راه های مقابله با آن در طرحهای مورد بررسی به تفکیک به بحث گذاشته شده است .

۴-۲- شبکه آبیاری اوان :

در کانالهای فرعی PC2 و PC4 در بازه هایی از طول کانال تخریب هائی بصورت نشست های کلی ، آب شستگی در زیر پوشش بتنی و گسیختگی در پوشش های بتنی قابل مشاهده است . بارزترین شکل تخریب در این طرح ، آب شستگی جسم خاکریز دقیقاً در زیر لاینینگ ، شکسته شدن پانل های بتنی بصورت ترک های طولی و عرضی شدید، نشست ناهمگن جسم خاکریز و از هم گسیختگی بتن می باشد (تصویر شماره ۱). ترک های عمودی در وسط دو درز عرضی نیز یک عارضه مشهود در کانال های این شبکه است . اگر چه شدت این ترک ها در کانال های PC2 و PC4 بیشتر و محسوس تر بوده ولی درکانال های دیگر نظیر MCPو PC3 نیز بصورت مقطعی و پراکنده قابل مشاهده می باشد.نکته قابل توجه در کانال های PC2 و PC4 عدم تعبیه درز طولی است که در نتیجه بصورت کاملاً مشخصی عدم کنترل و هدایت ترک ها در کانال را باعث شده است . تخریب های مشاهده شده در این کانالها بدون نظم خاصی در دو طرف کانال حادث شده اند . هر چه مقطع کانال کوچکتر شده از شدت تخریب ها نیز کاسته شده است .

نتایج آزمایشهای مکانیکی ، خاک مورد استفاده در این شبکه را CL ، شامل مخلوطی از رس ، لای ، ماسه و شن نشان میدهد که البته ذرات لای با حدود ۵۰ ~۴۰ درصد بیشترین درصد، ذرات ماسه و رس هر کدام بین ۲۰~۳۰ درصد و ذرات شن کمتر از ۱۵ درصد، حجم خاک را تشکیل داده اند . نتایج آزمایشهای شیمیایی خاک مورد استفاده در خاکریز ، این کانال ها را مقاوم به فرسایش کلوئیدی و در صد گچ موجود را حدود ۱٪ ارزیابی نموده که این مقادیر خطری را متوجه پوششهای بتنی نمی نماید . حد روانی و شاخص خمیری نسبتاً بالا و عدد فعالیت بیش از ۰/۷ (حد روانی ۴۳ ~ ۳۶ درصد و شاخص خمیری ۱۸~ ۱۵ درصد) بیانگر شکل غالب کانی ایلیت در خاک این منطقه می باشد . وجود این کانی خطر پذیری جسم خاکریز را به فشار تورمی خاک درحد متوسط نشان می دهد . نتایج آزمایش اندازه گیری تورم آزاد نیز ، درصد تورم نمونه های مورد بررسی را در بیشتر موارد بیش از ۶ درصد و حتی تا ۸ درصد نیز نشان داده که بیانگر آسیب پذیری پوششهای بتنی از این خصوصیات جسم خاکریزها میباشد .

بدین ترتیب می توان فرآیند تخریب در پوششهای بتنی کانالهای PC2 و PC4 در شبکه اوان را اینگونه ارزیابی نمود که ذرات تشکیل دهنده خاکریز این کانال ها پس از آب اندازی ، جسم خاکریز شدیداً و به صورت غیر یکنواخت متورم و باعث بیرون راندن دال های بتنی گردیده ، در اثر ایجاد ترک ها و شکاف های طولی با توجه به در صد بالای ذرات ریز دانه ، فرسایشهای مکانیکی در زیر پوشش بتنی به مرور زمان اتفاق افتاده و منجر به نشستها و بر آمدگیهای نامتقارن در جدار شیب دار پوشش بتنی شده است .

جدول (۴) – نتایج تعیین حدود آتربرگ و رده بندی خاک

نام طرح	نام کانال	حد روانی (٪)	شاخص خمیری (٪)	عدد فعالیت	رده بندی خاک روش یونیفاید	رطوبت بهینه (٪)	حداکثر وزن واحد حجم kg/cm3
اوان	PC2	۴۳	۱۸	۱/۰۵	CL	۱۷	۱/۷۳
	PC2	۳۶	۱۵	۰/۷۰	CL	۱۷	۱/۷۷
	PC4	۴۲	۱۵	۰/۵۶	CL	۱۵	۱/۸۳
ویس	MS4	۲۷	۸	۰/۲۹	CL	۱۷	۱/۷۸
	MS4	۳۰	۱۳	۰/۴۴	CL	۱۴	۱/۸۲
مارون	D	۲۷	۷	۰/۳۷	CL	۱۲	۱/۹۲
	A	۳۷	۱۶	۱/۴۵	CL	۱۸	۱/۶۷
	A	۳۹	۱۴	۰/۴۷	CL	۱۹	۱/۶۷
کرخه	MR	۳۱	۱۲	۰/۴۱	CL	۱۷	۱/۷۶
	ML1	۴۰	۱۷	۰/۳۵	CL	۱۹	۱/۶۵
	قدس	۲۹	۱۰	۰/۶۱	CL	۱۴	۱/۸۴
دهخدا	WMC	۳۳	۱۴	۰/۴۱	CL	۱۷	۱/۷۶

جدول (۵) – تعیین پتانسیل واگرائی نمونه های مورد بررسی به روش رحیمی – دلفی

نام طرح	نام کانال	ECe mmoh/cm	کاتیونها		SAR	PH	قابلیت واگرائی
			Na	Ca+Mg			
اوان	PC2	۵/۸۸	۶/۶۶	۴۳	۱/۴۲	۷/۹۴	مقاوم به فرسایش کلوئیدی
	PC2	۳/۶۳	۷/۳۳	۲۹/۶	۱/۹۲	۷/۷۸	مقاوم به فرسایش کلوئیدی
	PC4	۳/۳۷	۷	۲۷/۶	۱/۸۸	۷/۸۳	مقاوم به فرسایش کلوئیدی
ویس	MS4	۱۴/۷۶	۷۷	۷۰	۱۲/۹۹	۷/۷۶	بینابین
	MS4	۳۹/۴۶	۲۳۵/۶	۱۶۰/۵	۲۶/۳۸	۷/۳۹	بینابین
مارون	D	۴/۷۱	۴	۴۲/۷۶	۰/۸۶	۷/۴۶	مقاوم به فرسایش کلوئیدی
	A	۴/۶۳	۳/۵	۴۴/۲۵	۰/۷۶	۷/۶۸	مقاوم به فرسایش کلوئیدی
	A	۶/۲۰	۱۲/۵	۴۸/۳۳	۲/۵۶	۸/۵	مقاوم به فرسایش کلوئیدی
کرخه	MR	۵/۱۱	۱۰	۴۱/۵۳	۲/۱۸	۷/۷۳	مقاوم به فرسایش کلوئیدی
	ML1	۵/۴۳	۱۹/۶	۳۵/۱	۴/۲۳	۷/۹۵	مقاوم به فرسایش کلوئیدی
	قدس	۳/۳۴	۹/۶۶	۲۴/۹۵	۲/۷۸	۷/۸۴	مقاوم به فرسایش کلوئیدی
دهخدا	WMC	۲۴/۵	۱۶۳	۸۴	۲۵/۲۶	۷/۷۰	بینابین

جدول (۶) – نتایج مشخصات شیمیائی (گچ و آهک) و آنیونهای نمونه های مورد بررسی

نام طرح	نام کانال	آنیونها				گچ(٪) CaSO4(H2O)	آهک(٪) CaCo3
		SO4	CL	HCO3	CO3		
اوان	PC2	۳۶/۳۳	۱۱/۶۶	۱۶/۳۳	۰	۱/۸۲	۳۲/۸
	PC2	۹	۱۱/۶۶	۱۵/۶۶	۰	۰/۴۹	۳۷/۶۶
	PC4	۶	۱۴/۱۶	۱۲/۷۶	۰	۰/۵۴	۳۶/۶۶
ویس	MS4	۵۳/۵	۸۰	۱۳/۱۶	۰	۰/۹۴	۴۷/۶
	MS4	۴۴/۶۶	۳۴۱/۵	۹/۳۳	۰	۰/۹۹	۴۶/۳۳
مارون	D	۱۲	۱۵	۱۹/۶۶	۰	۶/۵۶	۳۹/۶۶
	A	۲۲/۷۵	۱۱/۲۵	۱۱/۲۵	۰	۱۴/۵۹	۲۶/۶۶
	A	۲۹/۱۶	۲۲/۵	۹/۳۳	۰	۳/۵۹	۳۹/۳۳
کرخه	MR	۶۹/۵	۱۱	۱۶/۸۳	۰	۱/۴۲	۳۶
	ML1	۲۲	۱۸/۸۳	۱۳/۸۳	۰	۰/۱۸۳	۳۶/۹۳
	قدس	۷/۱۵	۱۴	۱۳/۱۶	۰	۰/۶	۳۹/۱
دهخدا	WMC	۵۱	۱۸۴/۱۶	۱۰/۵	۰	۳/۱۴۶	۴۲/۳۳

جدول (۷) – نتایج آزمایش تورم نمونه های خاک مورد بررسی

ردیف	نام طرح	نام کانال	درصد تورم آزاد (٪)	فشار تورمی (kg/cm2)
۱	اوان	PC2	۶/۱۴	۰/۱۶
		PC2	۶/۳۱	۰/۲
		PC4	۸/۱۴	۰/۲۴
۲	ویس	MS4	۱/۸۶	۰/۰۶
		MS4	۳/۰۱	۰/۱۱
۳	مارون	D	۵/۱۹	۰/۲۵
		A	۷/۲۹	۰/۲۴
		A	۵/۹۵	۰/۱۹
۴	کرخه	MR	۴/۱۱	۰/۱۳
		ML1	۶/۳۷	۰/۲
		قدس	۳/۵۸	۰/۱۱
۵	دهخدا	WMC	۵/۲۸	۰/۱۵

معمولی ترین راه کاهش اثرات تورمی خاکریزهای ریزدانه کاهش میزان کوبیدگی و افزایش درصد رطوبت خاک کوبی تا حدود ۲ الی ۳ درصد بالای رطوبت بهینه می باشد . کاهش میزان کوبیدگی مقاومت برشی خاک را کاهش میدهد . حفظ و ثابت نگاه داشتن شرایط رطوبتی خاک ، اختلاط خاک ریز دانه با مقادیر بیشتری خاکهای درشت دانه ، استفاده از فرآورده های قیری بعنوان عایق های رطوبتی ، اختلاط خاکهای شدیداً متورم شونده با آهک و آرایش متناسب درزها عمده ترین راه های جلوگیری تخریب های ناشی از تورم خاکریزهای ریزدانه در هنگام اجرای آنها می باشد . توصیه استفاده از پوششهای غیر بتنی و تعویض خاکهای نا مناسب تا عمقی که شرایط خاکریز تحمیل می نماید (که البته روشی گران می باشد) نیز می تواند بعنوان روشهای قبل از ساخت مد نظر قرار گیرد . در حال حاضر با توجه به احداث کانال ها ، به نظر میرسد بهترین راه اصلاح درمحل هائی که تخریب بوقوع پیوسته ، برداشتن پوشش بتنی تخریب شده و غرقاب نمودن جسم خاکریز با دوغاب آهک و نگهداری برای مدت یک تا دو هفته و سپس لاینینگ می باشد که بدین ترتیب ضمن کاهش خواص تورمی خاک ، محل هایی از جسم خاکریز نیز که دچار آب شستگی های موضعی است تثبیت می گردد .

روش دیگری که به نظر قدری گرانتر می آید ، تعویض لایه ای از خاکریز زیر بتن به ضخامت ۵۰ سانتیمتر با شفته آهکی و سپس انجام عملیات لاینینگ می باشد . البته این عملیات در قسمتهائی از کانال های تخریب شده انجام شده است که نتایج آن در حال حاضر رضایت بخش بوده است . فاکتور زمان در این روشها بسیار مهم بوده و چنانچه به خاکریز اجازه داده شود قبل از انجام عملیات لاینینگ تطابق بهتری با شرایط جدید پیدا نماید ، پس از انجام بتن ریزی آسیب ها به نحو شایسته ای کنترل خواهد شد . به هر حال تورم پدیده ای است که برگشت پذیری آن با افت همراه است . چنانچه جسم خاکی کانال ها قبل از عملیات تریمینگ نهائی در چند مرحله مورد آب اندازی و خشک شدن قرار گیرد ، خاصیت تورم زائی به نحو محسوسی کاهش خواهد یافت [۱].

۴-۳ – شبکه آبیاری ویس :

بیشترین آسیب هائی که در این طرح مشهود است مربوط به ترک های طولی در کانال های MS4 وMS3 می باشد .نوع آسیب های این شبکه عمومی نبوده و در برخی جاها ، آسیب های متفاوتی دیده می شود . شاید بتوان شایع ترین صدمه به کانالهای این شبکه (خصوصاً در کانال های MS3 و MS4) را ترک های طولی و در برخی جاها ترک های نامنظم عنوان نمود . ترک های نامنظم احتمالاً ناشی از کیفیت نامطلوب اجرا و یا نحوه ناصحیح بهره برداری است ولی چون به صورت گسترده نمی باشد ، از اهمیت چندانی نیز برخوردار نیست . یکی از نکات بارز در کانال های این شبکه رشد علف های هرز و عدم لایروبی آنها بوده که می تواند در میان مدت باعث صدمه زدن به جسم بتن کانال گردد (تصویر شماره ۲) . فواصل درزهای عرضی در کانالهای این شبکه ۳ متر بوده و عملیات پر کردن این درزها با مواد و فرآورده های قیری (ماستیک) انجام شده که از کیفیت مناسبی برخوردار نیست . در کانالهای فرعی از ایجاد درز طولی اجتناب گردیده که این خود می تواند عامل ایجاد و تشدید ترک های بوقوع پیوسته باشد . با توجه به وسعت کم تخریب های حادث شده به نظر میرسد چنانچه در آرایش درزها دقت بیشتری مد نظر قرار می گرفت به نحو مطلوبی ترک های کانالهای MS3 و MS4 کنترل می گردید . ضمن اینکه در سایر کانالها آسیب های قابل توجهی مشاهده نگردید .

نتایج آزمایشهای انجام شده نوع خاک این منطقه را CL و درصد ذرات ماسه را کمتر از ۱۸ درصد ، ذرات لای را حدود ۶۰ درصد و ذرات رس را کمتر از ۳۰ درصد نشان می دهد . خاکهای این منطقه فاقد ذرات درشت شن می باشد . حد روانی نمونه های مورد بررسی حدود ۲۷ ~ ۳۰ درصد و شاخص خمیری آنهاحدود ۸ ~ ۱۳ درصد می باشد . مقادیر فوق و در نتیجه عدد فعالیت محاسبه شده (حدود ۰/۴) بیانگر وجود شکل غالب کانی کائولینت در خاک منطقه بوده که خطر پذیری خاکریز را نسبت به فشار تورمی در حد متوسط ارزیابی می نماید . نتایج آزمایشهای شیمیائی ، پتانسیل واگرائی خاک را در حد " بینابین" ارزیابی نموده که این خاصیت نمی تواند علتی برای بروز تخریب (با توجه به شواهد صحرائی) تلقی گردد ، درصد گچ بدست آمده نیز حدود یک درصد بوده و از نظر ایجاد آسیب برای پوششهای بتنی قابل چشم پوشی است . نتایج آزمایشهای

تصویر شماره (۱) – تخریب در کانال PC4 شبکه اوان و نمونه گیری از خاک

تصویر شماره (۲)– رشد علف های هرز در کانال MS3 شبکه ویس

تورم نیز ، درصد تورم آزاد نمونه های مورد بررسی را کمتر از ۴ درصد نشان می دهد که این مقادیر می توانـد در حـد کـم تـا متوسط خساراتی را به پوشش بتنی کانال ها وارد نماید .

با توجه به اینکه درصد تورم در این منطقه در حد بینابین قرار گرفته است بنـابراین ایجـاد تـرک و تخریـب ، تـابعی از فراهم بودن ، سایر شرایط ایجاد آسیب به کانال می باشد . مثلاً چنانچه خاکریز کانال در منطقـه ای بـا رطوبـت بـالای بهینـه کوبیده شود ، پتانسیل تورم زائی در آن قسمت در حدی نخواهد بود که به پوشش بتنـی آسـیب برسـاند . بـر عکـس چنانچـه کوبیدگی خاکریز بیش از حدود معمول برای کانالها (۹۰ تا ۹۵ درصد روش پروکتور استاندارد) انجام شـود ، آن نـواحی دارای درصد تورم بالاتری بوده و احتمال تخریب و یا ایجاد ترک های طولی بیشتر می گردد . سایر موارد نظیر کیفیت بتن مصـرفی ، شرایط رطوبتی خاک و نحوه تابش اشعه خورشید نیز می تواند شدت تخریب ها را کاهش و یا افزایش دهد .

با توجه به محدودیت آسیب های موجود در این شبکه به نظر میرسد بهترین راه در حال حاضر ، پر کردن ترک هـا بـا موادی نظیر چسب بتن ماستیک و گروت باشد . ولی بعنوان یک اصل کلی در مناطقی با وضعیت مشابه شبکه ویس بهترین راه مقابله با ایجاد ترک های طولی ضمن رعایت کلیه مشخصات فنی در مواجهه بـا خاکهـای تـورم زا ، آرایـش متناسـب درزهـای طولی و عرضی می باشد .

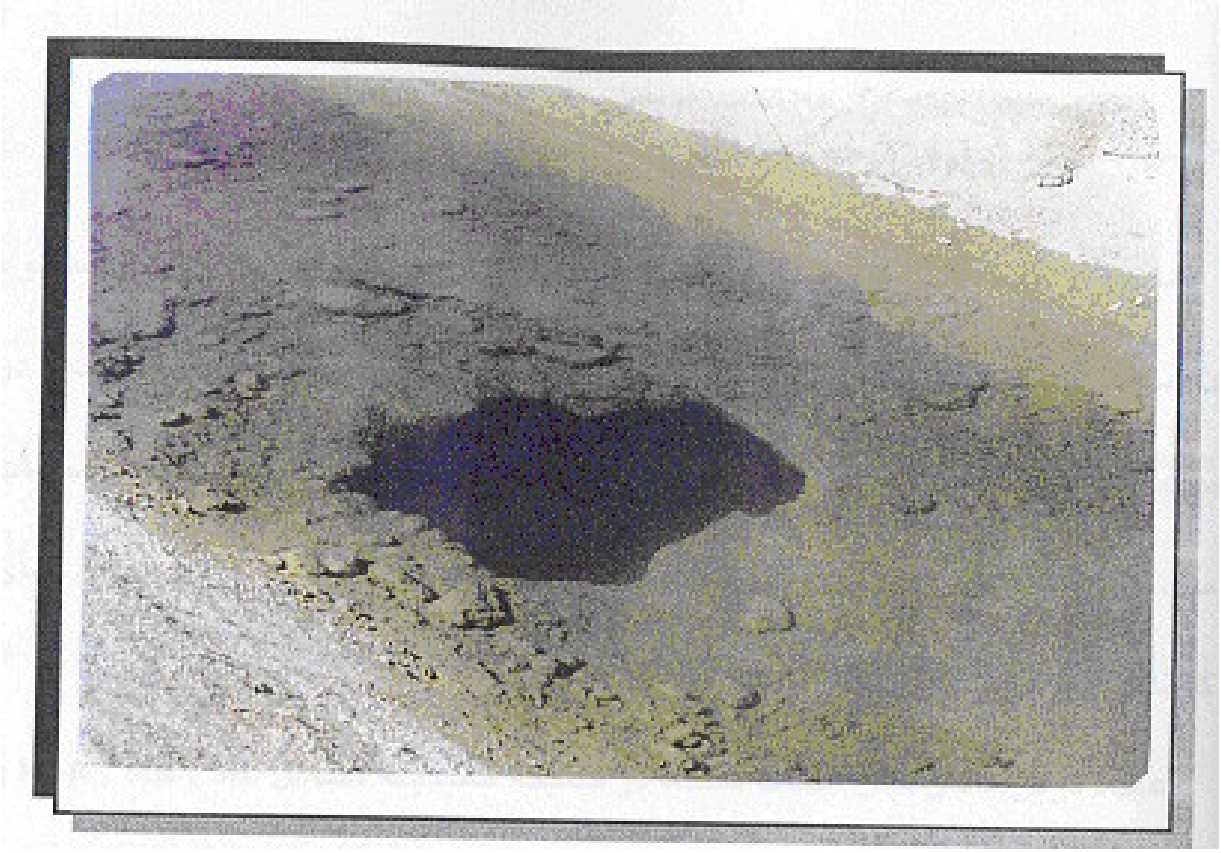
۴-۴- شبکه آبیاری مارون :

بیشترین تخریب های بوقوع پیوسته در این شبکه مربوط به کانال هـای A و D گـزارش گردیـده و بقیـه کانـال هـای آبیاری با مشکل جدی و حادی مواجه نبوده اند . بتن لاینینگ کانال از کیفیت مناسبی(درحدمتوسط) برخوردار بوده و ضوابط اجرائی نظیر تعبیه درزهای طولی و عرضی رعایت و عملیات ماستیک کاری درزها نیز انجام شده است . کانال A از یک منطقه (زون) گچی عبور کرده و در زمان بهره برداری مواجه با آب شستگی های شدید و تخریب های کلی در بـتن گردیـده اسـت . تخریب ها در این کانال بیشتر بصورت خالی شدن زیر بتن (در اثر انحـلال گـچ در آب کانـال) و آب شسـتگی هـای عمیـق مشاهده شد .(تصویر شماره ۳)

در نگاه اول به نظر می رسد چنانچه مسیر کانال در منطقه تخریب شده که به نظر مواد انحلال پذیر در آب ، خـاک آن را تشکیل می دهد ، طرح و اجرا نمی گردید این کانال با مشکل خاصی مواجه نمی شد . با توجه به تمرکز تخریـب هـای ایـن شبکه در کانال A (در محدوده کیلومتر۵۰۰ +۳ تا ۵۰۰ +۶) و وجود مناطق کاملاً گچی در کف کانـال و مشـاهده سـوراخ های بوجود آمده در کف کانال و جداره های آن ، علت تخریب آب شستگی جسم خاکی و زیرشوئی تشخیص داده مـی شـود . ضمن اینکه کانال مزبور در دامنه کوهپایه های اطراف (خصوصاً در بخش تخریب شده) قرار گرفتـه کـه ایـن خـود عـاملی در جهت هدایت جریان های سطحی و زیر سطحی به سمت این منطقه و تشدید آب شستگی های عمیق و زیرین می باشد .

در بخشی از کانال D نیز تخریب هایی اتفاق افتاده که البتـه شـدت آن بسـیار کمتـر و آسـیب هـا بیشـتر بـه شـکل ترک های طولی نمایان می باشد (تصویر شماره ۴). شایان توجه است که در بیشتر محل های کانال اخیر، توسط بهره بـردار ، ترمیم هائی انجام گرفته که نتیجه آن در حال حاضر رضایت بخش بوده است . ولی تخریب های حادث شده در کانـال A اگـر چه طی یک تا دو مرحله بصورت مقطعی با روشهائی ترمیم گردیده ولی مجدداً آب شستگی ها به وقوع پیوسته و تخریب هـای کلی حادث شده است . با توجه به بافت متغیر خاکریز این کانالها ، جهت ارزیابی دقیق یک نمونـه از کانـال D ، یـک نمونـه از بلورهای گچی کف کانال A و یک نمونه از جسم خاکریز کانال اخیرگرفته شده است .

نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی هر سه نمونه ، بیانگر وجود کمتـر از ۱۰ درصـد ذرات شـن در خـاک ، حـدود ۲۵ درصد ذرات ماسه ، حدود ۵۰ درصد ذرات لای و حدود ۲۰~ ۱۵ درصد نیز ذرات رس بوده که ریز دانه بودن خـاکریز را تأییـد می نماید . نتایج آزمایش حدود آتربرگ ، حد روانی خاک را حدود ۲۷~ ۳۹ درصد و شاخص خمیری را ۷~۱۶ درصـد تعیـین کرده است . عدد فعالیت در نمونه های کانال A و D حدود ۰/۴ که نشان دهنده وجود کانی کائولینیـت در خـاک و در نمونـه بلور گچی کانال A بیش از ۱/۲بوده که نشان دهنده وجود کانی مونتموریولینیت در ذرات تشکیل دهنده خاک می باشد . با



تصویر شماره (۳) – آب شستگی کف کانال A شبکه آبیاری مارون

تصویر شماره (۴) – تخریب در قسمتی از کانال D شبکه آبیاری مارون

توجه به بافت نمونه متشکل از بلورهای گچی ، امکان تعیین مشخصات مکانیکی این نمونه میسر نگردید و یا بـه مفهـوم دیگـر این بلورهای گچی بعلت اینکه در تماس با آب کاملاً شکل خود را از دست می دهند ، دارای خواص مهندسی جهت کـاربرد در اهداف عمرانی نیستند . نتایج فوق نشان دهنده آسیب پذیری خاکریز در اثر انحلال گچ در آب با ریسک بالا و آسـیب پـذیری در اثر فشار تورمی در حد متوسط تا زیاد می باشد .

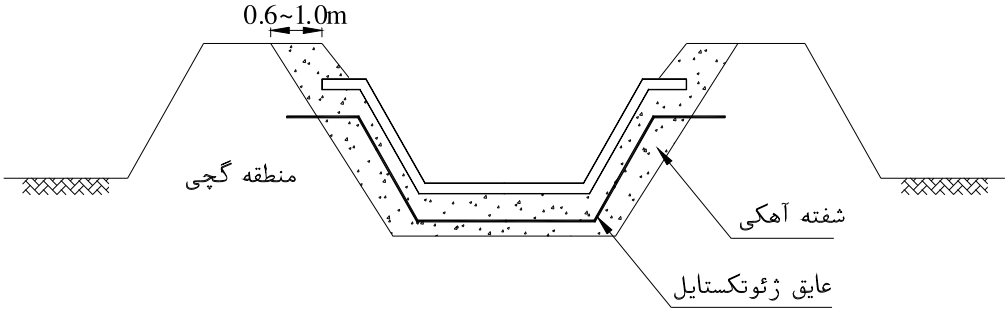
نتیجه آزمایشهای شیمیائی ، پتانسیل واگرایی خاک های این منطقه را عموماً مقاوم به فرسایش کلوئیـدی (فرسـایش ناشی از انحلال ذرات در آب) نشان می دهند. میزان گچ اندازه گیری شده در نمونه های مختلف بسـیار بـیش از حـدود قابـل اطمینان جهت احداث خاکریز کانال ها بوده و اغلب مـوارد بـیش از ده درصـد تعیـین گردیـده کـه بـیش از سـه برابـر مجـاز بوده است . این در حالیست که نمونه گرفته شده از منطقه تخریب شده کانال A میزان گچی حدود ۴ درصد و نمونه بلورهای گچی میزان گچ را تا ۱۵ درصد نیز نشان مـی دهـد . نمونـه گیـری انجـام شـده در کانـال D میـزان گـچ را حـدود ۷ درصـد برآورد می کند .

نتایج آزمایش تورم ، پتانسیل تورم زائی خـاک را در نمونـه کانـال D حـدود ۵ درصـد و در نمونـه هـای کانـال A را بین ۶~ ۷ درصد نشان داده است . نتایج متفاوت در نمونه گیری های کانال A مربـوط بـه وجـود زون گچـی مزبـور در ایـن محدوده بوده که ضمن اختلاط با جسم خاکریز ، خواص مکانیکی آنرا متفاوت نموده است .

بررسی های انجام شده ، نشان میدهد علت اصلی بروز تخریب های مـوردی در محـدوده هـائی از کانـال هـای A و D بعلت وجود مناطق گچی در مسیر احداث کانال بوده است . این کانال ها در مقطع خاکریزی و خـاکبرداری احـداث شـده و در زمان اجرا به آسیب پذیری کانال در مواجهه با گچ توجه و عنایت کافی نشده است . پس از احداث کانالها در این منـاطق و آب اندازی آنها ، بلورهای گچی در زیر جسم خاکریز با آب کانال ارتباط برقرار کرده و شسته شده اند ، این آب شستگی هم بصورت جریان های زیر سطحی (ایجاد سوراخ ها عمیق در کف و جداره کانال) و هم بصورت انحلال در آب کانال بوده است . پـس از گذشت مدت زمانی ، زیر جدار بتنی کانال خالی شده و منجر به نشست های عمیـق و شکسـتگی هـای متنـاوب خصوصـاً در کانال A گردیده است . آنچه که مسلم است شدت کم تخریب ها در کانال D بعلت مقادیر کمتر بلورهای گچی در مسیر کانال و شدت زیاد تخریب در کانال A ، احداث قسمتی از این کانال در یک محدوده کاملاً گچی می باشد .

بهترین راه حل جلوگیری از آسیب در مناطق گچی ، تعویض خاک منطقه تا عمقی که شرایط خاکریز تحمیل نماید با خاک مناسب و سپس احداث خاکریز کانال می باشد . اگر چه تغییر مسیر کانال و عدم عبور در مناطقی مانند مسیر کانـال A توصیه ای برتر و مطمئن تر می باشد . با توجه به احداث کانال های این طرح در حال حاضـر راه حـل مناسـب تعـویض خـاک کانال A در محدوده گچی با شفته آهکی با عیار آهک حداقل ۲۰۰ کیلوگرم در متر مکعب خاک مناسب و به عمـق حـدود ۶۰ سانتی متر تا یک متر می باشد که البته این عملیات در حال حاضر در بخشی از کانال A که مورد تخریب قرار گرفته در حـال انجام بوده که بایستی با نظارت مستمر بر کار ، نسبت به اجرای صحیح شفته آهکی تداوم بخشید . با توجـه بـه تخریـب هـای محدود تر در کانال D و ترمیم های انجام شده توسط دستگاه بهره بردار به نظر میرسـد فعـلاً اقـدام دیگـری لازم نباشـد ولـی چنانچه شدت تخریب ها در این کانال نیز رو به افزایش گذاشت ، بایستی تمهیدات ویژه ای نظیـر آنچـه در کانـال A در حـال انجام است در نظر گرفته شود .

جهت اطمینان بیشتر از عملیات انجام شده بهتر است شفته آهکی قبل از پوشش بتنی برای مدت یک فصل آبیاری بـه حال خود رها شده تا چنانچه نشست و یا آب شستگی هائی حادث گردد ، کاملاً نمایان شده و پس از اصلاح ، تریمینگ نهـائی انجام و عملیات لاینینگ و ایجاد پوشش بتنی صورت پذیرد . البته در این مناطق می توان با کاربرد مواد پوششی عـایق ماننـد عایق های ژئوتکستایل در بین لایه شفته آهکی و بتن (شکل ۱) ، عملیات انجام شده را کاملاً مطمئن نمود کـه البتـه هزینـه انجام آن بسیار گران خواهد بود .



شکل (۱) : عملیات لاینینگ و تمهیدات لازم در مناطق گچی

۴-۵- شبکه آبیاری کرخه :

در کانال های این شبکه وجود درزهای طولی با کیفیت متوسط بتن ریزی ها ، برم های کوچک در طرفین کانال ها(در برخی تردد خودرو ها از روی برم غیر ممکن می باشد) ، وجود بوته های علف هرز بصورت گسترده در کانال ها ، تخریب قسمتهائی از بتن ها که از داخل مناطق مسکونی می گذرد ، اجرای نامناسب مواد پرکننده درزها از نکات بارز می باشند .

در کانال هایAوC تخریب ها در حد اجتناب ناپذیر بوده ولی در کانال C در مناطقی بعلت احتمالاً عدم کوبیدگی مناسب خاکریز هاو کوچک بودن برم ها نشت آب از طرف کانال به سمت بیرون قابل مشاهده است که تخریب هائی از همین نوع در کانال D دیده می شود . در کانال A در مجاورت روستاهای مسیر ، خرابی هائی در اثر عملکرد روستائیان قابل مشاهده است . در کانال C نیز کیفیت نامناسب ، اجرای ماستیک مشهود می باشد . ضمن اینکه اجرای یک ردیف درز طولی در فاصله ۳۰ سانتیمتری از لبه بالائی بتن به نظر غیر معمول می آید . در کانال D به مقدار قابل توجهی علف و بوته رشد کرده که دربسیاری از این محل ها باعث شکستن بتن بدنه شده است (تصویر شماره ۵).

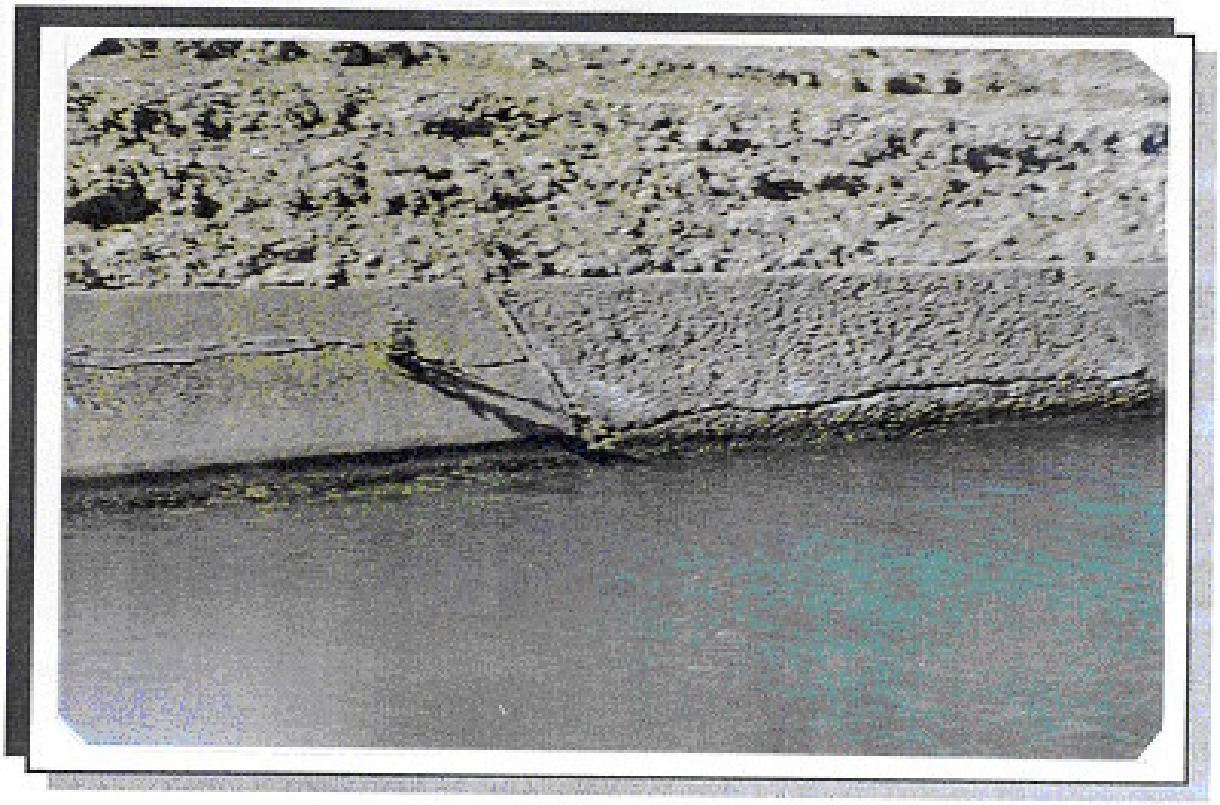
کانال MR یکی از کانال هائی است که تخریب های شدیدی بصورت شکستگی و گسیختگی دال های بتنی در آن مشاهده گردید . خصوصاً از کیلومتر ۱۲+۵۰۰به طرف پایین دست که از آن نمونه برداری گردید . تخریب ها درکانال اخیر بصورت پراکنده ولی با فراوانی زیاد بصورت شکستگی کامل پانل و نمایان شدن سطح خاکریزها مشاهده می گردد (تصویر شماره ۶) . در بازدید از کانال ML1 ترک های طولی زیادی در دو طرف دال بتنی مشاهده گردید که با تخریب های کانال های دیگر متفاوت بود . برم های این کانال کوچک و تردد از روی یک برم امکان پذیر می باشد . کانال در خاکریزی بوده و دو طرف آن در بیشتر مقاطع پوشیده از علف هرز می باشد . نکته جالب در این کانال ضخامت کم لاینینگ (حدود ۳ تا ۴ سانتیمتر) که به نظر ناشی از اجرای نامناسب است قابل ذکر می باشد .

کیفیت عملیات اجرائی در کانال اصلی شبکه زمزم بسیار نامناسب و مواد پرکننده درزها از وضعیت نامناسبی برخوردار بوده بطوریکه تشخیص مواد بکار برده شده کاملاً غیر ممکن می نمود . فاصله درزهای عرضی ۲/۵ متر و بیشتر مقطع کانال در خاکبرداری قرار گرفته است . مسأله کیفیت بد اجرا در این شبکه بسیار چشمگیر بوده بطوریکه نمی توان عوامل بعدی در تخریب و ایجاد ترک های طولی در بدنه بتنی این کانال ها را تعیین نمود (تصویر شماره ۷)

کانال قدس نیز در سال ۱۳۴۱ بصورت بتن مسلح احداث گردیده که بر اثر لایروبی های مکرر بوسیله دراگلاین در حال حاضر بتن اکثر مسیر کانال تخریب گردیده است (تصویر شماره ۸) . همانگونه که گفته شد شبکه آبیاری کرخه در سطح گسترده ای بنا شده و تخریب های بوقوع پیوسته درآن نیز شکل های متفاوتی دارد . اگر از تخریب های ناشی از عوامل انسانی و گذر کانال ها از معابر عمومی که بر اثر عدم نگهداری مناسب ، تخریب شده اند ، در این شبکه بگذریم که البته در بسیاری از مناطق قابل توجه بوده است می توان اشکال و علل تخریب در کانال های این شبکه را به شرح ادامه طبقه بندی نمود .

تصویر شماره (۵) – رشد علفهای هرز در کانال D شبکه آبیاری حمیدیه

تصویر شماره (۶)– تخریب در بدنه کانال MR شبکه آبیاری حمیدیه



تصویر شماره (۷)- کیفیت نامطلوب عملیات اجرایی در کانال اصلی شبکه زمزم

تصویر شماره (۸) - تخریب ناشی از عملیات لایروبی در کانال قدس

نمونه گیری انجام شده از خاک کانال MR که دارای تخریب های بیشتری نسبت به سایر کانال ها بوده است بیانگر وجود حدود ۲ درصد ذرات ماسه ، ۵۰ درصد ذرات لای و حدود ۳۰ درصد ذرات رس بوده که مؤید ریزدانه بودن خاکریز می باشد. حد روانی در این نمونه حدود ۳۱ و شاخص خمیری حدود ۱۲ درصد و عدد فعالیت نیز بطور میانگین ۰/۴۱ بدست آمده است که بیانگر وجود کانی کائولینیت و خطر پذیری متوسط آن نسبت به فشارهای تورمی در خاک میباشد . نتایج آزمایش واگرایی به روش رحیمی – دلفی این خاصیت را در خاکهای منطقه در رده ((مقاوم به فرسایش کلوئیدی)) ارزیابی می نماید . میزان گچ اندازه گیری شده در این خاکها نیز حدود یک درصد ارزیابی گردیده که در مقایسه با میزان مجاز حدود ۳ درصد ، از این جهت خطری متوجه پوششهای بتنی نمی باشد . همچنین میزان تورم اندازه گیری شده در این نمونه حدود ۴ درصد بدست آمده که ریسک خطر پذیری آن در حد متوسط ارزیابی شده است .

به نظر میرسد علت اصلی ایجاد ترک ها و تخریب های عمده در این کانال پتانسیل تورمی خاک منطقه بوده ولی با توجه به نوع تخریب ها چنانچه آرایش درزهای طولی و عرضی در این کانال به نحو بهتری و مطابق با شرایط کانال طراحی میگردید ، ترک های طولی به داخل درزها ، هدایت شده و از ایجاد آسیب های بعدی جلوگیری بعمل می آمد .

نمونه گیری انجام شده از محل های تخریب در کانال ML1 نیز خواصی شبیه خاک کانال MR نشان می دهد با این تفاوت که درصد ذرات رس این نمونه حدود ۵۰ درصد ، ذرات لای حدود ۴۸ درصد و ذرات ماسه نیز حدود ۲٪ بوده است . با توجه به ریز دانه تر شدن خاک میتوان چنین متصور شد که پتانسیل تورم زائی این خاک زیاد است ، آزمایش تورم به روش ISSFME میزان تورم زائی خاک را نیز حدود ۶ درصد نشان می دهد که این مقدار بیش از حد مجاز بوده و جهت پوششهای بتنی خطر آفرین و مشکل زا بوده است . بدین ترتیب علت عمده ایجاد ترک های طولی در این کانال به نظر می رسد عدم توجه کافی به نقش تورم در خاک های منطقه بوده است .

نمونه گیری کانال قدس نیز خواصی شبیه نمونه گیری کانال MR نشان داده با این تفاوت که ذرات ماسه در این نمونه بیش از ذرات رس به نسبت نمونه کانال MR بوده است . درصد ذرات ماسه ، لای و رس این نمونه به ترتیب ۱۲ ، ۵۴ و ۳۴ درصد و فاقد شن و کاملاً ریز دانه می باشد . عدد فعالیت بدست آمده در این نمونه حدود ۰/۶۱ و نشان دهنده وجود کانی کائولینیت در این خاک می باشد . پتانسیل تورم پذیری آن نیز حدود ۴ درصد و در محدوده خطر متوسط ارزیابی می گردد .

به نظر میرسد عمده ترین عامل ایجاد ترک های طولی و تخریب ها در این کانال ها مربوط به نقش خواص تورمی خاکریزهای ریزدانه بوده که البته رشد علف های هرز در محل درزها و ترک ها ، آب شستگی ها ، عدم آرایش مناسب درزها ، لایروبی کانال ها با بیل مکانیکی (البته در برخی موارد) شنای احشام در کانال ها و احتمالاً عدم رعایت موازین خاک کوبی در مواجهه با خاکهای تورم زا ، بر شدت این تخریب ها افزوده است .

در شبکه زمزم علت اصلی تخریب ها کیفیت بسیار بد عملیات اجرائی لاینینگ می باشد . لاینینگ در کانال های این شبکه به شکل بسیار بدی شن نما گردیده و در بسیاری از جاها از هم گسیخته است . عدم اجرای درزهای طولی در برخی جاها و کلاً عدم رعایت مشخصات فنی در زمان اجرا کاملاً مشهود و بارز می باشد . با توجه به شکل تخریب ها که بسیار گسترده بوده و کاملاً مربوط به مشخصات اجرائی می باشد ، تشخیص دیگری برای این موضوع قابل ارزیابی نمی باشد .

۴-۶- بررسی یک کانال در دست اجرا :

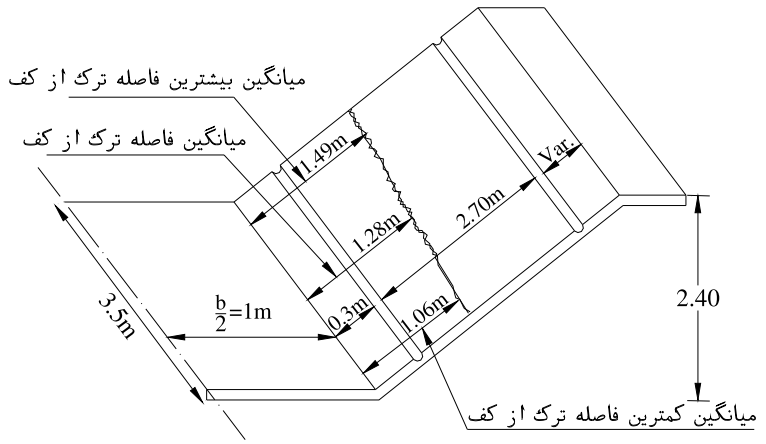
جهت پربار شدن این پژوهش و امکان مقایسه های علمی در این بررسی ، کانال غربی واحد طرح توسعه نیشکر دهخدا (WMC) بعنوان یک کار در دست اجرا مورد مطالعه قرار گرفت . این کانال بر اساس مشخصات فنی موجود اولیه دارای دو درز طولی در هر طرف بوده که فواصل این درزها به ترتیب ۰/۳۰ و۳ متر از کف کانال اجرا گردیده بود . پس از اجرای قسمتهائی از این کانال با مشخصات فوق و گذشت زمانی نزدیک به یکسال ترک های طولی زیادی در پانل های بتنی خصوصاً آنها که در جهت بیشترین شدت تابش آفتاب (جهت کانال شمالی و جنوبی) بوده اند ، پدیدار گردید (تصویر شماره ۹) . ضمن اینکه در کانال های فرعی اجرا شده در این واحد نیز همین نمونه تخریب ها قابل رویت است . این ترک ها کاملاً شیبیه

ترک های حادث شده در طرح توسعه نیشکر واحد شعیبه[۱۱] (البته با شدت کمتر) ، شبکه آبیاری ویس و کانال ML1 شبکه کرخه می باشند .

جهت بررسی نحوه ایجاد این تخریب ها در بازه ای به طول یک کیلومتر و در هر پانل بتنی ، به تفکیک سمت راست و سمت چپ بودن ، بیشترین فاصله و کمترین فاصله شروع ترک از کف کانال در امتداد شیب اندازه گیری گردید تا بتوان به صورت تجربی یک فرمول مناسب جهت آرایش درزها و هدایت ترک به داخل آنها ابداع نمود . همچنین یک نمونه از خاک این کانال جهت بررسی های آزمایشگاهی گرفته شد .

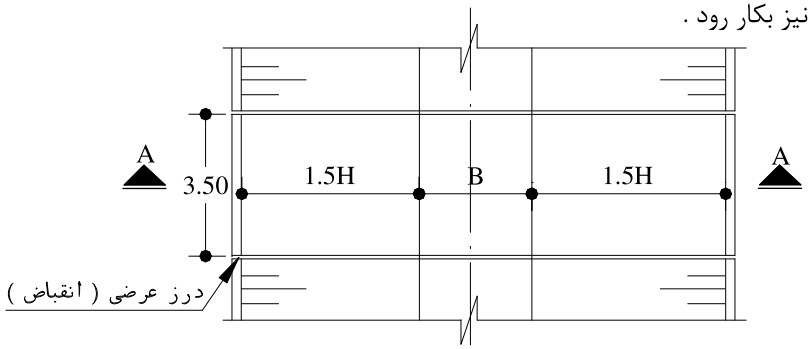
نتایج آزمایشهای انجام شده ، خاک این کانال را در رده CL حاوی حدود ۱۰ درصد ماسه ، ۵۵ درصد لای و ۳۵ درصد رس نشان می دهد که مؤید ریزدانه بودن خاک می باشد . خواص خمیری خاک ، (حد روانی ۳۳ درصد و شاخص خمیری ۱۴ درصد) عدد فعالیت آنرا حدود ۰/۴۱ و بیانگر وجود کانی کائولینیت با خواص تورم زائی در حد متوسط ارزیابی می نماید . آزمایشهای شیمیائی نشان دهنده EC معادل ۲۴/۵ میلی موس در سانتی متر که بیانگر شوری بسیار زیاد خاک (بعلت بالا بودن تراز آب زیر زمینی) می باشد . ضمناً آزمایش میزان واگرائی به روش رحیمی و دلفی این خاصیت را در حدود بینابین ارزیابی نموده است . مشاهده های صحرائی ایجاد ترک در اثر خاصیت واگرائی در این کانال را محتمل نمی نماید . میزان گچ در خاک منطقه در حد مجاز و کمتر از ۳ درصد بوده که این خاصیت نیز نمی تواند عاملی برای ایجاد ترک های طولی سرتاسری در این کانال باشد . نتایج آزمایش تورم به روش ISSFME درصد تورم را حدود ۵/۳ درصد تعیین نموده که بیش از حد مجاز (۴ درصد) بوده و بیانگر خطر پذیری خاک این کانال نسبت به پتانسیل تورم زائی می باشد . به نظر میرسد در این کانال نیز علت اصلی ایجاد ترک های طولی عامل تورم خاک می باشد . همانطوریکه گفته شده در یک بازه یک کیلومتری وضعیت ترک های طولی ایجاد شده در سمت چپ و راست کانال اندازه گیری گردید که نتایج آن بشرح زیر است :

- تعداد پانل های شمارش شده در این بازه در هر طرف ۲۷۹ پانل به طول کل ۹۷۶/۵ متر .
- تعداد پانل های سمت راست (غربی) که در معرض تابش کمترین اشعه آفتاب در ظهر بوده و تخریب گردیده اند ۴۰ پانل بوده است .
- تعداد پانل های سمت چپ (شرقی) که در معرض تابش بیشترین اشعه آفتاب در ظهر بوده و تخریب شده اند ۷۰ پانل بوده است .
- عرض کانال احداث شده ۲ متر ، ارتفاع پوشش بتنی ۲/۴ متر و شیب جانبی ۱/۵ بوده است .
- دو ردیف درز عرضی در هر طرف وجود دارد که نحوه قرارگیری آنها در شکل (۲) آمده است .
- بیشترین و کمترین فاصله تخریب از کف کانال در دو طرف چپ و راست پانل های بتنی اختلاف معنی داری با هم نداشته و میانگین اعداد فوق به ترتیب در کمترین فاصله ۱/۰۶ و در بیشترین فاصله ۱/۴۹ متر بوده است .
- میانگین و محدوده ترک های بوجود امده در دو طرف در فاصله ۱/۲۸ متری از کف کانال بوده است .



شکل (۲) : نحوه ایجاد ترک طولی در کانال WMC طرح توسعه نیشکر واحد دهخدا

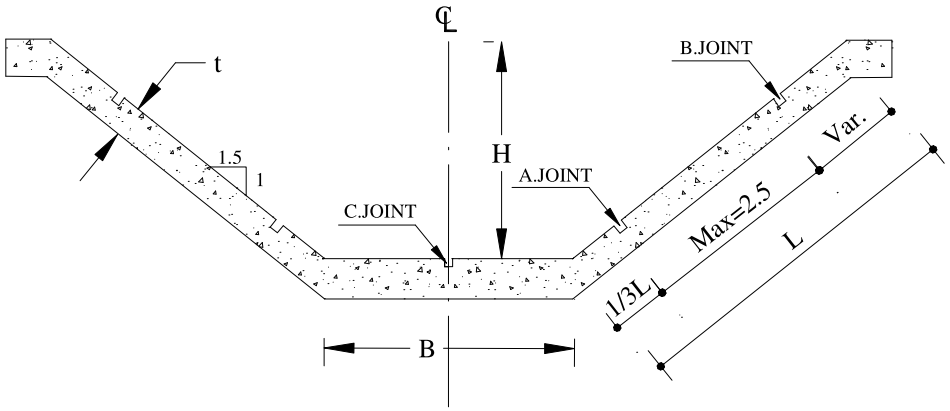
نتایج این بررسی نشان می دهد که محل انتخابی درزها ، خصوصاً نزدیکترین درز طولی به کف متناسب با شـرایط ژئـوتکنیکی خاکریز انتخاب نشده است . با توجه به انحراف معیار داده های بدست آمـده مـی تـوان اذعـان داشـت چنانچـه درز پـایینی در فاصله $\frac{1}{2/75}$ تا $\frac{1}{3/5}$ طول شیب پانل های بتنی از کف (ترجیحاً $\frac{1}{3}$) قرار گیرد به نحو مطلوبی می تواند تـرک هـای طولی را در خود هدایت نماید . درزهای عرضی و درز بالائی نیز با توجه به خواص انبساط و انقباض بتن در فاصله مناسبی (بـر اساس استانداردهای موجود حداکثر ۳/۵ متر فاصله از هم یا ۹ مترمربع سطح هر پانل بتنـی) قـرار خواهـد گرفـت . بـه ایـن مقادیرتجربی برای بقیه کانال های ساخته نشده طرح دهخدا مطابق شکل (۳) مورد استفاده قرار گرفته و پـس از کـاربرد و آب اندازی کانال ها در حال حاضر و پس از دو سال بهره برداری نتایج بسیار مطلوبی به دنبال داشته به طوریکه ترک های طـولی به طرز محسوسی کنترل گردیده اند (تصویر شماره ۱۰) . توصیه می شود این روش تجربی در مناطق دیگری که کانال هـای آبیاری در حال اجرا می باشند نیز بکار رود .



پلان

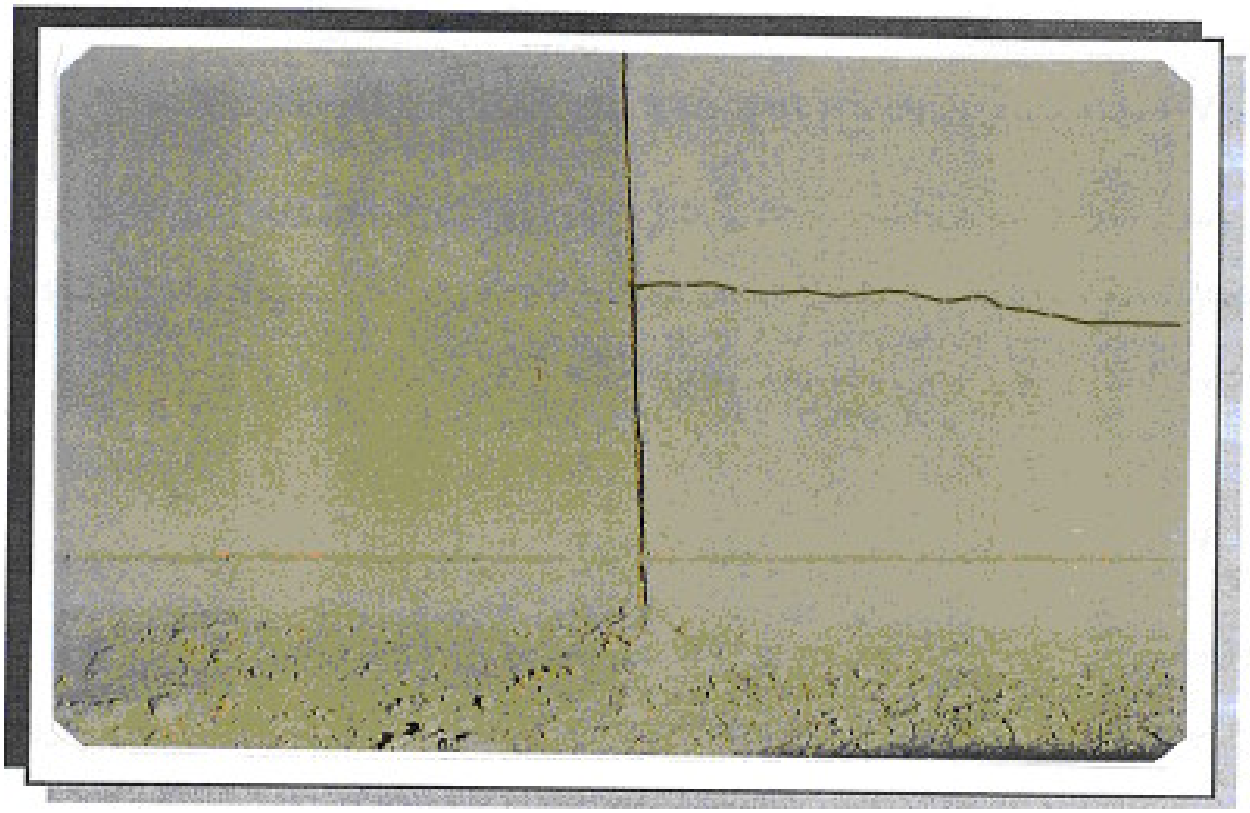
شرایط ایجاد درز طولی

H(m) / B(m)	H<=1	1<H<=1.8	H>1.8
B<=2	A	A	A
2<B<=3.5	----	A	A,B
B>3.5	----	A,C	A,B,C



مقطع A-A

شکل (۳) – نحوه آرایش درزهای کانال ها ، پیشنهاد شده توسط محققین



تصویر شماره (۹) - ترک های طولی در کانال غربی طرح آبیاری دهخدا

تصویر شماره (۱۰) - تغییر آرایش درز طولی در کانال غربی طرح آبیاری دهخدا که سبب هدایت ترک در محدوده درز گردیده است .

۵- جمع بندی و بحث :

۵-۱-دسته بندی نوع تخریب با توجه به شکل آن :

شکل تخریب نشان دهنده علت یا علل بوجود آورنده آن میباشد . در این قسمت به عنوان جمع بندی کلیه مطالعات انجام شده و نتیجه گیری نهایی اقدام به مرتبط نمودن شکل و تیپ تخریب با علت بوجود آمدن آنها شده است .

آ- تورم بستر خاکی باعث تخریب پوششهای بتنی به شکلهای زیر میگردد:

- ایجاد ترک های طولی در جداره کانال که این ترک ها از محل درز عرضی شروع و در محل درز عرضی بعدی خاتمه می یابد . محل وقوع این ترک ها معمولاً در یک سوم عمق تحتانی پوشش میباشد .
- مکان ترک ها در دو قالب مجاور در محل درز معمولاً با اختلاف سطح همراه میباشند .
- در خاکهای متورم شونده در اثر جذب آب ، ترک های طولی و سرتاسری در سطح خاکریز قابل مشاهده است .
- چنانچه درزهای عرضی و طولی کانال بدرستی تعبیه گردند ، معمولاً تورم نقش تخریبی خود را در محل درز به صورت بالاآمدگی قطعه بتنی نشان می دهد .
- در محلهایی که تخریب در اثر تورم اتفاق می افتد ، معمولاً پس از خشک شدن خاکریز ، بین بتن و خاک بستر کانال فاصله ایجاد می شود .
- تخریب های ناشی از تورم معمولاً مدت کمی بعد از ساختمان کانال و شروع بهره برداری و حتی در بعضی از موارد پس از اجرای پوشش و قبل از آب اندازی رخ می دهد .

ب - شکلهای تخریب ناشی از عواملی نظیر واگرائی خاکهای رسی ، فرسایش بستر در اثر جریانهای سطحی و فرآیندهای انحلالی املاحی نظیر گچ که نهایتاً موجب خالی شدن زیر بتن جداره و کف گردیده و سبب نشست و خرد شدگی پوشش میشود که با تخریب های ناشی از تورم متفاوت بوده و ممکن است به صورت زیر مشاهده گردد :

- بطور کلی در خاکریزهای حاوی خاکهای واگرا ، در سطح خاکریز آب شستگی های عمیقی مشاهده می گردد.
- نوع تخریب در این مواقع غیر یکنواخت و به صورت ترک های عمودی و افقی و آب شستگی های نامنظم اتفاق می افتد .
- معمولاً در بستر خاکی کانالها همیشه حفرات فرسایشی که نشاندهنده نفوذ و آب شستگی در خاکریز و پشت پوشش بوده ، مشاهده می گردد .
- تخریب در اثر این عوامل معمولاً در زمان طولانی رخ می دهد .

پ - تخریب ناشی از کیفیت مصالح و روشهای اجرایی می تواند به شکلهای گوناگون بروز کند و نمی توان شکل خاصی از تخریب را به این عوامل اختصاص داد . به هر حال نمونه هایی از تخریب در اثر این عوامل به شرح زیر قابل ذکر است :

- عدم رعایت ضخامت یکنواخت پوشش که منجر به عدم یکنواختی مقاومت بتن و در نهایت تخریب سازه می گردد[۴] .
- معمولاً چنانچه کیفیت مصالح بکار رفته خصوصاً مقدار و نوع سیمان مصرفی مناسب نباشد ، در اثر سرعت جریان آب فرسایشهای سطحی در بتن به خوبی قابل مشاهده است .در جاهایی که مصالح درشت دانه در سطح بتن قابل رؤیت بوده و بتن یکپارچگی لازم را نداشته باشد. می توان علت این امر را کیفیت نامناسب مصالح و نسبت نامطلوب آب به سیمان قلمداد نمود .
- در محلهایی که سطح بتن به صورت پوسته درآمده و در اثر جریان آب این پوسته ها قابل حرکت باشند ، عدم رعایت مشخصات فنی تولید و اجرای بتن، موجب این امر گردیده است .

ت - مهمترین تأثیر عوامل محیطی تغییرات شدید درجه حرارت و تماس آبهای دارای مواد شیمیائی مضر با بتن می باشد . همچنین عوامل بهره برداری و نگهداری نیز می توانند به شکلهای گوناگون نقش تخریبی خود را ایفا نمایند . شاید بتوان مهمترین شکلهای تخریب از این دسته را به ترتیب زیر تقسیم بندی نمود[۶ و ۱۲] .

- تغییرات شدید درجه حرارت معمولاً تأثیر تخریبی مستقیم نداشته بلکه اثر تخریبی سایر عوامل نظیر تورم را شدت می بخشد .

- چنانچه خوردگی های شدیدی به صورت فرسایشهای انحلالی در سطوح نمایان بتن مشاهده گردد . این عامل می تواند ناشی از کیفیت نامطلوب آب و بویژه آبهای قلیائی و کربناته باشد .
- تخریب های ناشی از حفاری حیوانات نظیر موشها شکل خاصی از تخریب است که می تواند با ایجاد مجرا و سوراخ در پشت پوشش و جریان یافتن آب در آن به تخریب کلیه پوشش منجر گردد .

به طور کلی نمی توان جهت تخریب هایی از این نوع ، شکل خاصی را عنوان نمود چرا که این نوع از خسارت مستقیماً تابع شرایط اقلیمی منطقه و وضعیت فرهنگی ، اجتماعی و نحوه بهره برداری و نگهداری از کانالها میباشد . در استان خوزستان نمونه هایی از این نوع تخریب به صورت پراکنده در شبکه های موجود ، در اثر حفاری موشهای صحرائی و شنای گاومیش ها و در بعضی موارد به علت رشد علفهای هرز مشاهده گردیده است .

۵-۲- توصیه های فنی لازم و راه های جلوگیری از تخریب با توجه به نوع آن :

در این قسمت جهت ارائه طریق و راهکارهای عمومی برای مهندسان طراح توصیه های فنی کلی در مواجهه با مشکلات مختلف پوششهای بتنی ارائه گردیده است . بطور کلی پس از اینکه علت ایجاد تخریب در یک پوشش تعیین گردید ، می توان جهت مقابله با آن راههای مختلفی توصیه نمود ولی نباید فراموش کرد پس از یافتن علت تخریب و روش اصلاح آن همیشه تحلیل های اقتصادی ، در انتخاب روش مطرح و تعیین کننده می باشد .

۵-۲-۱- توصیه های مربوط به خاکهای تورم زا :

آ – توصیه های عمومی :

- تورم مهمترین عامل از مجموعه عوامل ژئوتکنیکی بستر بوده که در کوتاه مدت باعث تخریب پوششهای بتنی احداث شده بر روی خاکریزهای رسی (با بیش از ۵۰ درصد ذرات ریزدانه رس ، لای و ماسه) می شود .
- روش تعیین پتانسیل تورم با استفاده از استاندارد ASTM ، مقادیر واقعی این پتانسیل را بعلت استفاده از تراکم دینامیکی در هنگام آزمایش و عدم امکان کاربرد رطوبت پایین ، بدرستی ارزیابی نمی نماید .
- روش تعیین پتانسیل تورم با استفاده از استاندارد ISSMFE با توجه به شرایط اقلیمی و مسائل اجرایی در منطقه خوزستان مقادیر واقعی تری از پتانسیل تورم زائی خاکهای رسی را ارائه می کند چرا که در این روش ضمن کاربرد تراکم استاتیکی امکان تعیین درصد تورم آزاد در رطوبت های پایین میسر می باشد .
- اگر چه در منابع موجود ، پتانسیل تورم زائی کانی های ایلیت و کائولنیت نسبت به کانی مونتموریولنیت کمتر عنوان گردیده ولی باید اذعان نمود که وجود این کانی ها حتی با پتانسیل تورم پذیری پایین تر ، می تواند در شرایط خاص و بویژه در صورت خشک شدگی شدید خاکریز ، نقش زیانباری در پوششهای بتنی ایفا نماید . برای نمونه می توان به تخریب های اتفاق افتاده در واحدهای شعیبیه و دهخدا درطرح توسعه نیشکر اشاره داشت .
- تورم پدیده ای است که برگشت پذیری آن با افت همراه است . بطوریکه چنانچه خاکی در اثر جذب رطوبت متورم گردیده و سپس خشک و مجدداً متورم گردد ، تورم حاصله در سیکل دوم باندازه تورم حاصله در سیکل اول نمی باشد .
- علت اصلی ایجاد تخریب پوشش بتنی توسط پدیده تورم ، بالاآمدگی ناشی ازآن نیست ، بلکه غیر یکنواختی این پدیده در لایه های مختلف خاک است .
- میزان پتانسیل تورم پذیری با افزایش عمق خاکریز بعلت وجود فشار سربار خاک روی آن کاهش می یابد .

ب- توصیه های قبل از ساخت :

- مقدار تورم بستگی مستقیم به نحوه عمل تراکم و وسیله متراکم کننده دارد . اگر تراکم بوسیله فشار استاتیکی انجام شود ، مقدار تورم ناشی از آن بیشتر از زمانی است که تراکم به صورت فشار و ضربه های دینامیکی صورت پذیرد .
- نقش درجه حرارت محیط به سبب کاهش شدید محتوی رطوبتی خاک و افزایش کشش موئینگی برای جذب آب ، می تواند پتانسیل تورم زائی خاک را افزایش دهد .
- بهترین راه جلوگیری از بروز پتانسیل تورم خاکها ، ثابت نگاه داشتن شرایط رطوبتی خاک است . فشارهای غیر یکنواخت ناشی از تورم خاکریز کانالها ، بعلت شرایط رطوبتی و تراکمی لایه های مختلف ، می تواند ضمن ایجاد ترک های طولی در خاکریز کانالها ، به محدوده یک سوم پایینی جداره بتنی کانال نیز خسارت وارد آورد (دلیل این امر می تواند موضوع تحقیقات بعدی قرار گیرد چرا که به عوامل زیادی از جمله رطوبت خاکریزی ، ضخامت بتن ، نوع بتن و غیره بستگی دارد) . این خسارت ممکن است بصورت ترک خوردگی یا بالا زدگی و جابجایی پوشش نمایان شود .
- پتانسیل تورم زائی در کانال های احداث شده در خاکریزها معمولاً بیشتر از کانالهای واقع در خاکبرداری می باشد . چرا که زمین طبیعی طی مرور زمان انعطاف پذیری لازم را در مقابله با تغییرات احتمالی رطوبت پیدا نموده است .
- بهترین راه حل برای جلوگیری از بروز تخریب ناشی از تورم ، حفظ شرایط رطوبتی خاکریز و جلوگیری از تغییرات رطوبتی شدید چه در جهت کاهش و چه در جهت افزایش میباشد .
- در صورت برخورد با خاکهای شدیداً متورم شونده ، چنانچه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد بهترین راه حل اختلاط یا تعویض این خاک با خاکهای مناسب میباشد .
- با کاهش مقدار تراکم نسبی خاکریزهای متراکم شونده ، بطور محسوسی میتوان پتانسیل تورم زائی آنها را کاهش داد . بدین ترتیب توصیه می گردد که خاکریز کانالها در این نوع خاکها با تراکم نسبی بین ۸۵ تا ۹۰ درصد کوبیده شود .
- همچنین نشان داده شده است که با افزایش مقدار رطوبت هنگام خاک کوبی ، می توان پتانسیل تورم زایی خاکهای رسی را کاهش داد ، بدین ترتیب پیشنهاد می گردد که رطوبت زمان خاک کوبی در مواجهه با این خاکها بین ۲ تا ۵ درصد بیشتر از رطوبت بهینه انتخاب گردد .
- هر چه نشانه خمیری خاکها بیشتر باشد ، با توجه به افزایش پتانسیل تورم پذیری بایستی تمهیدات ویژه ای برای مقابله با تورم زایی خاک اتخاذ شود .
- یکی از راههای مناسب در مواجهه با خاکها ذاتاً متورم شونده ، اختلاط این نوع خاک با مصالح درشت دانه نظیر شن و ماسه و تغییر ساختمان آن میباشد . این روش برای خاکریزهای احداث نشده تنها در شرایطی قابل استفاده است که ملاحظات اقتصادی ، اجازه این امر را بدهد .
- یکی از راههای دیگر ، اجرای پوشش بتن مگر قبل از پوشش نهائی و بهره برداری از کانال برای یک یا دو فصل آبیاری می باشد که پس از آن نسبت به انجام پوشش نهایی اقدام می گردد . با توجه به اینکه در پوشش کانالها ، معمولاً یک لایه بتن لاغر (مگر) اجرا شده و سپس پوشش بتنی روی آن قرار می گیرد ، این روش می تواند از صرف هزینه های اضافی رگلاژ نهائی جلوگیری نماید .
- یکی از راههای مؤثر مقابله با پتانسیل تورم زائی خاکریزهای احداث شده ، روش اشباع کردن خاکریز کانال (Ponding) قبل از پوشش بتنی می باشد . این روش بعنوان یکی از بهترین و ارزانترین روشهای مقابله با تورم خاکریزهای رسی در منطقه خوزستان قابل توصیه است . ضمن اینکه کاربرد آب آهک به جای آب معمولی در این روش ، میتواند آنرا بعنوان روشی کاملاً مناسب برای مبارزه با تورم خاکریزهای احداث شده مطرح سازد . بعلت اینکه در این روش تریمینگ نهائی و پوشش بتنی انجام نشده ، کانال نمی تواند با ظرفیت دبی طراحی عمل نموده و این موضوع بایستی در برنامه ریزی های استفاده از آب کانال مد نظر باشد .

- یکی از راههای نسبتاً گران مقابله با پدیده تورم ، استفاده از لایه های عایق رطوبتی نظیر فرآورده های قیری ، پوششهای لاستیکی یا پلاستیکی ، پوششهای ژئوسنتیک و ژئوتکستایل می باشد . هدف از کاربرد این مواد در رو و یا زیر خاکریزهای متورم شونده حفظ شرایط رطوبتی است که بعلت گرانی عموماً قابل توصیه نمی باشد .
- درجه حرارت بالا عمدتاً باعث کاهش رطوبت و انقباض شدید خاکریزهای رسی گردیده و در پی آن ترک هایی را در سطح خاکریزها ایجاد می کند . این امر سبب می شود تا تورم زائی خاکریز کانال افزایش پیدا کند . نقش تغییرات شدید درجه حرارت روی بتن پوشش کانالها در صورت تعبیه درزهای مناسب معمولاً اهمیت چندانی ندارد .

پ – توصیه های بعد از ساخت :

- چنانچه پس از ملحوظ نمودن کلیه تمهیدات حفاظتی در مقابله با تورم ، باز هم ترک هائی در پوششهای بتنی پدیدار گردید ، لازمست سریعاً نسبت به تعمیر و بازسازی این خسارات اقدام گردیده تا با تغییر رژیم رطوبتی خاک پدیده تورم خاک تشدید نشده و از وقوع خرابی های بعدی کاسته گردد.
- بیشترین بالا آمدگی بستر بتنی کانالها در اثر تورم معمولاً در روزهای نخستین بعد از آب اندازی بوقوع می پیوندد که در این خصوص مراقبت جدی را میطلبد . نتایج بدست آمده نشان می دهد که در ۱۵ روز اول پس از آب اندازی حدود ۶۰ درصد از میزان بالا آمدگی (حدوداً ۵ سانتیمتر) بوقوع می پیوندد .

۵-۵-۲- توصیه های مربوط به خاکها با مشکلات دیگر نظیر واگرائی ، گچ و غیره :

نتایج آزمایشهای انجام شده در این پژوهش و پژوهشهای دیگران ، عوامل دیگر شامل مسائل ژئوتکنیکی بستر نظیر واگرائی ، وجود گچ و املاح انحلال پذیر در خاک و عوامل مربوط به طراحی ، اجرا و کیفیت ساخت ، عوامل مربوط به بهره برداری و نگهداری را در دراز مدت در تخریب پوشش بتنی کانالها مؤثر دانسته و عوامل محیطی نظیر تغییرات شدید درجه حرارت و تماس آبهای قلیائی با بتن را بصورت عامل تشدید کننده تخریب نشان داده است . بدین ترتیب می توان مهمترین نتایج بدست آمده را بصورت زیر خلاصه نمود :

- خاصیت واگرائی خاکهای رسی ، در تخریب پوششهای بتنی معمولاً در شرایط عادی و بویژه در شرایط جلوگیری از نشت آب به خاکریز اهمیت چندانی ندارد ولی در دراز مدت با ایجاد ترک در پوشش و نشت آب به خاکریز ، فرسایش صورت گرفته و با پیشرفت سریع ، نهایتاً موجب تخریب پوشش می گردد .
- وجود املاح انحلال پذیر در خاک نظیر گچ نیز در تخریب پوشش بتنی کانالهای آبیاری در استان خوزستان عمومیت نداشته است و معمولاً کمتر از حد مجاز (۳ درصد) بوده است .
- در مواجهه با خاکهای ذاتاً واگرا ، گچی ، انحلال پذیر ، سست و ناپایدار بهترین راه حل تعویض این خاکها و یا تثبیت آنها بوسیله آهک ، سیمان و مواد مضاف دیگر میباشد . ضمن اینکه اولین توصیه در خاکریزهای احداث شده در این محل ها جلوگیری از ارتباط مستقیم آب و خاکریز است .
- عوامل مربوط به طراحی ساختمانی و هیدرولیکی معمولاً در صورت رعایت نمودن ضوابط فنی از سوی دست اندرکاران طراحی ، در تخریب پوششهای بتنی نقش کم اهمیتی دارند .
- طراحی کانال در خاکبرداری همیشه نسبت به طراحی در خاکریزی برتری دارد .
- طراحی درزهای انبساط و انقباض و ساختمانی از نظر ابعاد و فاصله قرار گیری بسیار با اهمیت بوده و می تواند نقش تخریبی سایر عوامل را شدت بخشیده و یا خنثی نماید . به توصیه USBR سطح محدود به درزهای طولی و عرضی نبایستی از ۹ متر مربع بیشتر باشد .
- واکنش ترکیبات تشدید کننده بتن با آبهای قلیائی ، کربناته و دیگر فرآیند های شیمیائی ذاتاً مخرب و مشکل آفرین است ولی در منطقه خوزستان تخریب پوششهای بتنی در اثر این عوامل به صورت عمومی مشاهده نگردیده است .

- نظر به اینکه تخلیه سریع کانال باعث ایجاد یک فشار هیدرواستاتیکی نسبتاً قوی از خاکریز به سمت پوشش بتنی می گردد در نتیجه این عامل می تواند نقش تخریبی مؤثری در پوششهای بتنی ایفا نماید . همچنین ترک های ایجاد شده در سطوح خاکریز کانالها ضمن اینکه باعث نفوذ جریانهای سطحی به خاکریز گردیده ، می تواند در افزایش این فشار هیدرواستاتیکی نقش داشته باشد.
- مهمترین عامل در امر بهره برداری ، ثابت نگه داشتن شرایط رطوبتی خاکریزها و مهمترین عامل در امر نگهداری ، انجام تعمیرات سالیانه ترک ها و شکاف های ایجاد شده در پوشش و دفع گیاهان و علفهای هرز میباشد .
- تخریب های ناشی از عوامل اجرا و کیفیت مصالح اصولاً باید قبل از وقوع ، با نظارت و کنترل دقیق بر عملیات اجرائی ، حذف گردند و در صورت وقوع نیز سریعاً نسبت به تعمیر و بازسازی محل های آسیب دیده اقدام شود .
- جلوگیری از ورود آبهای قلیایی ، فاضلابهای صنعتی و غیره در کانال ها اولین توصیه در مقابله با تخریب ناشی از این نوع می باشد . ضمن اینکه در صورت تخریب بر اثر این عوامل ، تعویض و تعمیر قسمتهای آسیب دیده اجتناب ناپذیر است .
- در محیطهائی نظیر منطقه خوزستان که تغییرات شدید درجه حرارت ممکن است مشکل ساز باشد ، بهترین راه حل عدم فراهم آوردن شرایطی است که این تغییرات منجر به خسارت گردد . بعنوان مثال تخلیه سریع کانالهای آبیاری در فصول گرم تابستان و رها کردن آنها برای مدت طولانی منجر به تبخیر محتوی رطوبتی خاکریز و انقباض بتن گردیده و پس از پر نمودن مجدد کانال ، عکس پدیده فوق رخ داده و باعث بروز خساراتی می گردد .
- با توجه به اینکه تخلیه کانالها یک فشار هیدرواستاتیکی در پشت بتن بوجود می آورد توصیه می گردد در هنگام تخلیه کانال این موضوع کاملاً مد نظر بوده و شرایطی برای جلوگیری از این فشار و یا حذف آن فراهم آید .
- عوامل بهره برداری و نگهداری تنها مسائلی می باشند که رفتار تخریبی آنها پیش بینی نشده و بایستی با ارتقاء سطح فرهنگی بهره برداران ، کشاورزان و دست اندرکاران خدماتی شبکه های آبیاری نسبت به مقابله با تخریب های ناشی از این عوامل اقدام شود .
- در طراحی شبکه های آبیاری انتخاب نوع پوشش از اهمیت ویژه ای برخوردار است بطوریکه اجرای یک پوشش انعطاف ناپذیر و پر هزینه ، روی یک بستر مسئله دار ، زیانبار تر از عدم اجرای پوشش است .
- نقش کیفیت مصالح مصرفی و نحوه اجرا نیز در سلامت و دوام پوششهای بتنی با اهمیت می باشد ولی با توجه به اینکه معمولاً در پروژه های بزرگ تمامی مراحل کار توسط دستگاههای نظارت کنترل می گردد این عوامل در تخریب پوششها کمتر مؤثر واقع می شوند .
- آنچه مسلم است کلیه عوامل فوق الذکر نمی تواند در کوتاه مدت نقش تخریبی خود را ایفا نمایند ولی با گذشت زمان و عدم ایجاد شرایط مناسب ، خسارات جبران ناپذیری بر اثر تأثیر عواملی نظیر واگرائی ، وجود گچ ، رسوب ، رشد گیاهان و غیره به بار خواهد آمد ، که به مجموعه این عوامل مسائل فرهنگی و اجتماعی را نیز باید افزود .

۶- نتیجه گیری :

- در این پژوهش علل تخریب پوشش بتنی کانالهای آبیاری طرح های ویس ، اوان ، مارون و کرخه تعیین شده است . بررسی های انجام شده نشان داد که علت اصلی تخریب کانالهای شبکه های ویس ، اوان و کرخه ، تورم خاکریز محل احداث کانال بوده و علت اصلی تخریب کانالهای شبکه مارون وجود زون های گچی در محل احداث این کانالها بوده است .
- پدیده تورم زائی خاکهای ریزدانه مهمترین عامل تخریب پوشش بتنی کانال های آبیاری در استان خوزستان میباشد . روش ISSFME که در آن آماده سازی نمونه با تراکم استاتیکی انجام می شود . میزان پتانسیل پنهان تورم خاکریزهای ریزدانه را به صورت واقعی تری تعیین می کند . لذا توصیه می شود از این روش به جای روش ASTM استفاده گردد .

- ترک های طولی ناشی از تورم معمولاً در محدوده ۱/۳ پایینی از کف کانال اتفاق می افتد ، توصیه می شود محل درز طولی پایینی کانالها در این محدوده تعبیه گردد .
- در مواجهه با خاکهای تورم زا توصیه می شود رطوبت خاک کوبی بمیزان ۲ تا ۳ درصد بالای رطوبت بهینه افزایش یافته و تراکم نسبی لایه ها بمیزان ۹۰ درصد به روش پروکتور استاندارد عمل گردد .
- در مواجهه با خاکهای گچی بهترین توصیه تغییر مسیر کانال و در اولویت های بعدی تعویض خاک و بهبود مشخصات مکانیکی خاک با افزودن موادی نظیر آهک و یا جایگزین کردن شفته آهکی می باشد .

۷- سپاسگزاری :

بدینوسیله بر خود لازم می دانیم از همکاری و توجه مدیریت محترم تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب سازمان آب و برق خوزستان و شرکت بهره برداری از شبکه های آبیاری کرخه و شاوور که زمینه انجام این تحقیق را فراهم ساخته و نیز از راهنمائی های علمی و فنی جناب آقای دکتر محمود بینا و همچنین از سرکار خانم منیر سیمری به سبب ترسیم اشکال، تنظیم و تایپ متن مقاله ، نهایت تشکر و قدردانی را بنمائیم .

۸- منابع :

۱- باروتکوب.ش و ح. رحیمی ، ((بررسی علل تخریب پوششهای بتنی در استان خوزستان)) پایان نامه ، دانشگاه تهران ، ۱۳۷۴ .

۲- دلفی. م و ح. رحیمی ، ((روشهای تشخیص رسهای واگرا در سازه های آبی و بررسی کارائی آنها در منطقه خوزستان)) ، پایان نامه ، دانشگاه تهران ، ۱۳۷۱ .

۳- عسگری ، ف . وع . فاخر ، ((تورم و واگرائی خاک از دید مهندس ژئوتکنیک)) ، ۱۳۷۲ .

4- Alice I.Comer , Water Conservation “ Canal Lining Systems in irrigated agriculture , “ GRID Issue 15 ,February 2000 .

5- “ASTM Standards “ , Annula Book . 1993 , Volume 408 .

6- Australian Nation Committee of Irrigation and Drainage , “ Open Channel See Page & Control “ , March 2001 .

7- Bara . J.P. “ Controlling the Expansion of Dessicated Clays During Construction “ .

8- FAO , “ Irrigation Canal lining ‘ . Irrigation and Draingae Paper No. 2 , Rome , 1971 .

9- Swan , C.H.” Middle East Canal and Irrigation Problems “ , ACI Journal , Technical Paper , January – February 1985 .

10- Technical Committee in Expansive Soils (TC6) of ISSMFE , “ Standard Evaluation of Swelling Pressure and Corresponding Heave of Expansive Soil in Laboratory by Construction Swell Percentage Versus Applied Total Stress Diagram “ , 1989 .

11- USBR , “ Linings for Irrigation Canals “ , Denever , 1963 .

12- U.S.Department of the Interior , “ Canal-Lining Demonstration Project Year 10 Final Report “ . November 2002 .