بررسی علل خرابی کانال‌های اصلی با استفاده از آنالیز برگشتی و ارائه راهکار جهت ترمیم (مطالعه موردی: کانال پای پل)

هدی برماس[۱] و نوید خیاط*[۲]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲) استادیار گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

*نویسنده مسئول: **khayat@iauahvaz.ac.ir**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۲**

چکیده

احداث کانال از دیرباز از رایج‌ترین راه‌های ذخیره و انتقال آب به‌شمار می‌رود. از مهمترین اهداف طراحی کانال‌ها، انتقال آب از منبع تا محل مصرف با حداقل تلفات نشت و کمترین هزینه بهره‌برداری می‌باشد. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که بسیاری از سازه‌های هیدرولیکی و کانال‌ها به‌دلایل مختلفی از جمله عدم وجود خاک مناسب در محل و خاک‌های مسئله‌دار دچار تخریب‌های جزئی و کلی گردیده و صدمات زیادی را موجب شده‌اند، از جمله این سازه‌ها کانال پای پل واقع در استان خوزستان می‌باشد که دچار تخریب شده است. پیش‌بینی علل تخریب کانال‌ها منوط به شناسایی هرچه دقیق‌تر پارامترهای خاک بستر کانال است. با توجه به اینکه شناسایی این پارامترها به وسیله انجام آزمایش بر روی گمانه‌ها و یا با آزمایش‌های صحرایی مشخص می‌شود، اما معمولاً نتیجه این پارامترها همواره با خطا همراه است. لذا یک روش برای کاستن این عدم قطعیت‌ها استفاده از روش آنالیز برگشتی می‌باشد. از این روش می‌توان جهت طراحی سازه‌ها با ضریب اطمینان بالاتر استفاده کرد. در این پژوهش با استفاده از روش آنالیز برگشتی، به کمک نرم افزار Geo Studio و داده‌های حاصل از برداشت‌های میدانی، کانال پای پل مدل‌سازی گردید و پس از کنترل صحت و عملکرد نرم افزار، راهکارهایی جهت ترمیم تخریب‌های ایجاد شده ارائه شد. همچنین در انتها پس از بررسی علل ایجاد تخریب، روش بهسازی کانال ارائه و مدل‌سازی گردید.

واژه‌های کلیدی: ترمیم کانال، خاک‌های مسئله‌دار، خاکریز کانال آبیاری، مقطع مرکب خاک‌ریزی و آنالیز برگشتی.

مقدمه

امروزه در راستای گسترش و پیشرفت نرم‌افزارهای قدرتمند آنالیز عددی، امکان بررسی و مطالعه کانال‌های آبیاری و زهکشی از مراحل مقدماتی تا انتهای مرحله ساخت وجود دارد. بدیهی است که این نرم‌افزارها، ابزارهای بسیار دقیقی در نزد مهندسان هستند که به دقت داده‌های ورودی وابسته است. لذا برای شناسایی هرچه دقیق‌تر این داده‌ها و پارامترهای حاصل از آزمایش‌های اولیه و در نتیجه آن درک بهتر رفتار کانال‌های انتقال آب و جلوگیری از تخریب و آبشستگی باید راه‌حل مناسبی اتخاذ نمود که بتوان از نتایج آن در طراحی های آینده بهره جست. خیاط و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی راهکاری مناسب جهت اصلاح خاک بستر کانال ارائه دادند که در آن استفاده از مناطق ناحیه‌بندی مرکب، جهت استفاده حداکثری از منابع قرضه هر منطقه ارائه شد، به‌طوری که ضمن استفاده حداکثری از منابع هر منطقه الزامات مورد نیاز در طراحی نیز تامین شود. در مهندسی ژئوتکنیک معمولا آنالیز برگشتی به‌عنوان یک ابزار جهت ارزیابی داده‌های اندازه‌گیری شده برجا محسوب می‌شود. پور بنایی (۱۳۹۲) در پژوهش خود دریافت بررسی عملکرد، بخش ضروری از فرآیند طراحی و ساخت و ساز در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. یکی از مشکلات عمده برای مهندسین ژئوتکنیک در طی مراحل پروژه این است که از یک روش قابل اعتماد، پارامترهای موثر بر مدل تشکیل دهنده را حدس بزنند. در مرحله اجرای پروژه، این پارامترها با استفاده از آزمایش‌های برجا در آزمایشگاه انجام می‌شوند، اما این آزمایش‌ها منج به یکسری عدم قطعیت‌ها می-شود که به‌علت تغییر خاک و خصوصیات خاک در آزمایش است که معرف توده خاک نمی‌باشد. همچنین برای تحلیل آزمایش‌های برجا یکسری مشکلات وجود دارد که به‌علت تغییر خصوصیات خاک موجود در محل است. برای کاستن این عدم قطعیت‌ها مهندسین ژئوتکنیک از آنالیز برگشتی در طی ساخت استفاده می‌کنند. بنابراین با توجه به مسائل ذکر شده در بالا نیاز است تا روش‌های آنالیز برگشتی برای بهبود نتایج و سرعت بخشیدن به محاسبات و همگرایی میان داده‌های اندازه‌گیری شده از محل و آزمایشات برجا و پارامترهای محاسبه شده، به‌کاربرده شود که منجربه ذخیره شدن زمان و هزینه می‌شود. مکارچیان و صدقی (۱۳۹۳) در تحقیق خود به بررسی و کنترل واگرایی خاک در مسیر کانال‌های آبیاری و روش اصلاح آن‌ها پرداخته‌اند. کانال‌های آبیاری از جمله سازه‌هایی هستند که در بیشتر طول خود بر روی خاک قرار می‌گیرند و عمده‌ترین مشکل برای کانال‌ها، خاک‌های ریزدانه هستند که می‌توانند خصوصیاتی مانند واگرایی، تورم، رمبندگی و ... را داشته باشند. جمشیدی خضرلو و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به چگونگی استفاده از روش آنالیز برگشتی و تحلیل داده‌ها و استفاده از آن‌ها در تحلیل‌های عددی پرداختند. در این تحقیق نیز با استفاده از آنالیز برگشتی تخریب‌ها، آبشستگی، نشی و ... در انتها از اندازه‌گیری‌های صحرایی به‌دست آمده و سپس در یک نرم‌افزار تحلیلی مدل‌سازی شد. نرم‌افزار مورد استفاده در این تحقیق، نرم‌افزار Geo Studio بود که قابلیت تحلیل نشت در بستر کانال را دارا می‌باشد. عباسی و بهراملو

(۱۳۹۶) در تحقیق خود دریافتند احداث کانال‌های آبیاری و زهکشی در مناطقی که دارای خاک نامناسب می‌باشند اغلب سبب نگرانی‌هایی در ارتباط با تخریب و آسیب‌های احتمالی ناشی از آن می‌شود. در اغلب موارد وجود خاک‌های مشکل آفرین در بستر پروژه‌های عمرانی به‌ویژه سازه‌های آبی، مشکلاتی را برای این گونه سازه‌ها بوجود آورده است که با پژوهش و شناخت مسائل موجود در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری، می‌توان از تکرار موارد مشابه در سایر شبکه-ها، به‌ویژه در شبکه‌های در حال مطالعه و اجرا جلوگیری کرد. Saleh (۲۰۱۸) در پژوهشی بیان داشتند که نشت در بستر سازه‌های هیدرولیکی می‌تواند به‌عنوان پدیده خطرناکی در نظر گرفته شود که در صورت نادیده گرفتن باعث فروپاشی سازه می‌شود. این تحقیق بر اساس مدل‌سازی انجام شده در نرم‌افزار Geo Studio میزان نشت و گرادیان خروجی را در بستر سد تعیین می‌کند و در نهایت میزان تاثیر و اهمیت هر یک از پارامترهای ژئوتکنیکی خاک و سازه را بیان می‌نماید.

مواد و روش‌ها

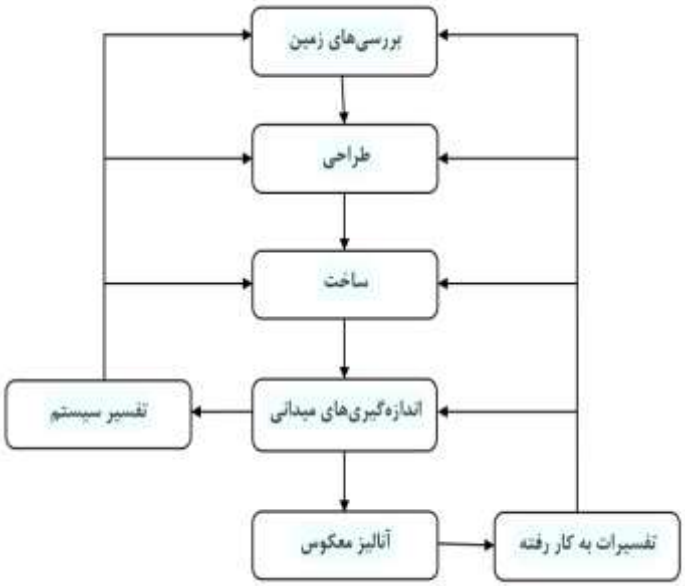
این پژوهش به بررسی کانال پای‌پل واقع در استان خوزستان و شهرستان دزفول می‌پردازد. همان‌طور که پیش از این عنوان شده است با توجه به اینکه دسترسی به منابع آبی در این مناطق به آسانی ممکن نیست. احداث کانال‌های آبیاری و زهکشی جهت رفع این مشکل ضروری است. طبق مطالعات صورت گرفته و بررسی محل مورد تحقیق، تخریب‌هایی در مناطقی از این کانال مشاهده شد. به‌منظور تعیین عوامل موثر بر این نوع تخریب‌ها مطالعاتی صورت گرفت، اما از آنجایی که با استفاده از این مطالعات و برداشت‌های میدانی به تنهایی نمی‌توان تحلیل درستی از شرایط بستر کانال انجام داد، این تحقیق با استفاده از روش آنالیز برگشتی به کمک نرم‌افزار Geo Studio به تحلیل هرچه دقیق‌تر این موضوع پرداخته است. در این تحقیق تصاویری از تخریب‌های ایجاد شده در محل کانال درج شده و پس از آن با انجام مطالعات گسترده و برداشت‌های میدانی به جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز جهت ساخت مدل در نرم‌افزار پرداخته شده است. در ادامه راهکارهایی جهت ترمیم و بهسازی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

شهرستان دزفول، از شهرستان‌های استان خوزستان در جنوب غربی ایران است. شهرستان دزفول با مساحت ۴۷۶۲ کیلومتر مربع بین ۴۸ درجه و۲۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است و بین ۳۲ درجه و۷۵ دقیقه عرض شمالی از خط استوا قرار گرفته است (شکل ۱). کانال پای پل یکی از کانال‌های این منطقه می‌باشد که پس از بهره‌برداری دچار خرابی‌هایی در بعضی از بازه‌ها شد. این کانال به طول تقریبی ۱۰۷ کیلومتر یکی از کانال‌های اصلی استان خوزستان است که آب ۳۵ هزار هکتار از زمین‌های کشاورزی را پوشش می‌دهد و آب شرب شهرستان‌های اهواز، آبادان، خرمشهر، شادگان، سوسنگرد، هویزه، رفیع و بستان را در روستاهای توابع تامین می‌کند (شکل ۲).

شکل۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان دزفول در نقشه استان خوزستان

شکل۲: کانال اصلی پای پل

تکنیک‌های تحلیل عددی، مانند روش‌های اجزاء محدود، از دهه ۱۹۶۰ بسط و توسعه داده شده‌اند و ابزار قدرتمندی برای مراحل طراحی می‌باشند. این تکنیک‌ها همچنین در زمینه‌های دیگر مهندسی نیز کاربرد دارند که در مسائل مهندسی ژئوتکنیک اغلب برای شبیه‌سازی مراحل ساخت و برای تعیین اهداف طراحی به کار می‌روند. با وجود مشکل بودن استفاده از این روش‌ها، مهندسین ژئوتکنیک تلاش دارند تا رفتارهای خاک را در میان محدودیت‌ها و مجموعه ناقصی از داده‌های ورودی پیش‌بینی کنند. برای این منظور استفاده از اطلاعات حاصل از محل، منجر به تولید و توسعه روش مشاهده‌ایی در شکل ۳ نشان داده شده است. در این تحقیق نیز جهت تشریح نتایج اندازه‌گیری‌های درجا و تعیین پارامترهای کنترل کننده که مدل مورد آنالیز را تعریف می‌کند، از روش آنالیز برگشتی استفاده شد.



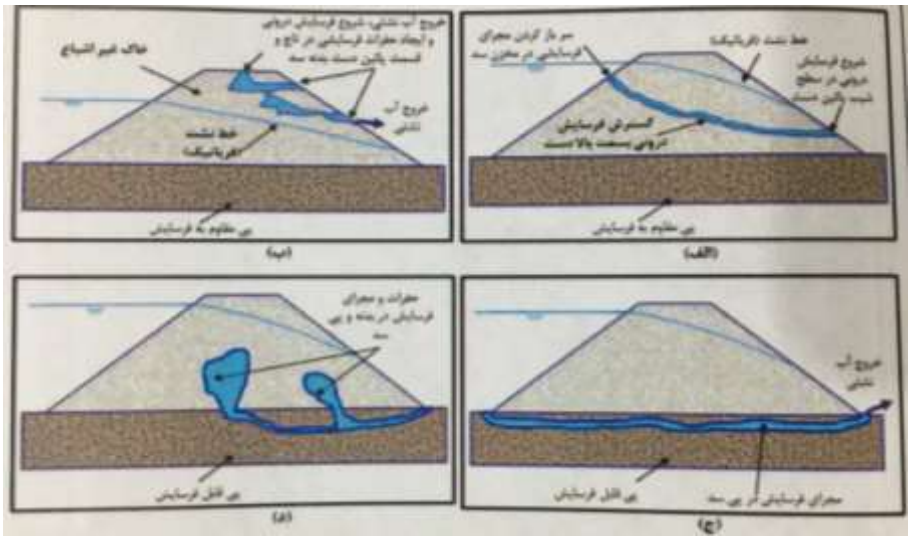
شکل۳: مراحل آنالیز برگشتی

به‌طور کلی آنالیز برگشتی به‌عنوان روشی که قابلیت کنترل پارامترهای سیستم را با تحلیل رفتار خروجی آن داشته باشد، بیان می‌شود. در تحلیل برگشتی ابتدا مقادیر فشار آب حفره‌ای، میزان نشت و ... محاسبه شده و سپس در یک مدل مکانیکی فرضی قرار داده می‌شود. در نهایت پارامترهای اولیه و شرایط مرزی تعیین می‌شود. این نتایج برای بررسی مجدد اطلاعات ورودی به مرحله طراحی و نیز بررسی کیفیت روش‌های طراحی و ساخت از جنبه اقتصادی و ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد خاک منطقه خوزستان در اکثر نواحی از نوع خاک‌های مسئله‌دار می‌باشد. با توجه به مطالعات صورت گرفته موارد بسیار متعددی از تخریب کانال‌های انتقال آب و سازه‌های زهکش بر اثر وقوع پدیده واگرایی گزارش شده است که اغلب این موارد مربوط به سازه‌های ساخته شده در مناطق دارای اراضی شور، به‌ویژه در استان خوزستان بوده است. فرم اصلی بروز خسارت در کانال‌های آبیاری احداث شده بر روی خاک‌های واگرا اغلب به‌صورت فرسایش و مهاجرت شدید ذرات خاک از زیر پوشش بتنی کانال و یا روی تاج خاکریز، خالی شدن پشت پوشش سخت و خرد شدن قطعات بتنی یا سایر پوشش‌های سخت به علت نبود تکیه‌گاه است. در کانال‌های دارای پوشش‌های بتنی، به دلیل ایجاد فضاهای خالی بزرگ ناشی از فرسایش خاک واگرا، قطعات بتنی دچار ترک خوردگی شدید در جهات مختلف گردیده و بعضا جابه‌جایی یا لغزش یک قطعه از پوشش نسبت به قطعات مجاور مشاهده می‌شود. به‌طور کلی تخریب و ترک خوردگی قطعات بتنی عموما موضعی و متناسب با محل ایجاد حفره فرسایشی است. با توجه به موارد ذکر شده و مشاهده تخریب ایجاد شده می‌توان این‌گونه استدلال کرد که خاک موجود در بستر کانال پای‌پل، از نوع خاک‌های واگرا بوده، زیرا

فرسایش ذرات خاک از زیر پوشش بتنی کانال باعث خالی شدن خاک پشت پوشش و قطعات بتنی گردیده و باعث ایجاد تخریب مشاهده شده در شکل‌های ۴ و ۵ گردیده است.

شکل۴: تخریب ایجاد شده در نقطه ۱ کانال پای‌پل

شکل۵: تخریب ایجاد شده در نقطه ۲ کانال پای‌پل



شکل۶: مکانیزم فرسایش درونی ناشی از وجود خاک واگرا

شکل ۶ به خوبی مکانیزم فرسایش درونی خاک‌های واگرا را نشان می‌دهد. تخریب ایجاد شده در کانال مطابق مکانیزم فوق اتفاق افتاده است. برای بررسی کانال نیاز به اطلاعات دقیق ژئوتکنیکی از خاک و بستر آن می‌باشد. به همین جهت

ابتدا برداشت‌های میدانی جهت کسب اطلاعات بیشتر انجام شد و پس از آن اطلاعات تکمیلی از شرکت سازنده کانال جمع‌آوری گردید. به علت اینکه پارامترهای لازم جهت مدل‌سازی نمونه در نرم‌افزار Geo-studio قابل دسترس نبود و با توجه به مشخصات دقیق هر لایه، اطلاعات تکمیلی از مطالعات و کتب معتبر جمع‌آوری گردید و با استفاده از رابطه‌های مربوطه که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد، داده‌های مورد نیاز تکمیل شد. جدول‌های ۱ و ۲ نتایج حاصل از برداشت-های میدانی در نقاط تخریب شده را نشان می‌دهد. مشخصات مقاطع مختلف کانال از شرکت سازنده دریافت گردیده و در جدول ۳ جمع‌آوری شده است.

جدول ۱: اطلاعات خاک بخش‌های موجود، نتایج حاصل از برداشت‌های میدانی

ردیف	جنس خاک	نفوذپذیری بر حسب (M/S)	وزن مخصوص (KN/M^3)
۱	خاکریز(CL)	5.00E-08	۱۹
۲	SM	1.00E-03	۱۷
۳	SC-SM	1.00E-03	۱۷
۴	SC	5.00E-05	۱۷
۵	فیلتر	0.01	۱۷

جدول۲: طلاعات ترازهای آب در نقاط مختلف خاکریز

ردیف	منطقه	تراز آب تعریف شده در مدل
۱	کانال	ارتفاع آب داخل کانال ۴ متر
۲	کانال فرعی	ارتفاع آب داخل کانال ۰،۶ متر
۳	آب زیر زمینی	متوسط ۲- نسبت به سطح زمین
۴	زهکش زیر گذر کانال	ارتفاع آب داخل زهکش ۵/۱ متر

جدول۳: مشخصات هندسی کانال

ردیف	مشخصات کانال	طول		عرض
		ضلع کوچک	ضلع بزرگ	
۱	لایه SC- بستر	۷۰	۷۰	۲/۵
۲	لایه SC2 - بستر	۷۰	۷۰	۲/۵
۳	خاکریز CL2	۴/۵	۱۲/۴۷	۲/۷۵
۴	لایه SM- بستر	۵۰	۵۵/۷۵	۱/۷۵
۵	لایه SC-SM – بستر	۶۴	۶۹	۲/۵
۶	خاکریز CL1 – بزرگ	۴/۵	۷	۱
۷	خاکریز CL1 – کوچک	۱/۵	۴	۱

در ادامه جهت اختصاص دادن مصالح هر بخش جهت مدل‌سازی در نرم‌افزار اطلاعات دقیق هر لایه مورد نیاز است. با توجه به محدودیت داده‌های موجود، جهت تخمین داده‌هایی که امکان دستیابی به آن‌ها میسر نیست، مطالعاتی صورت گرفت که جداول و رابطه‌های حاصل از این مطالعات استخراج شده و در جدول‌های ۴ و ۵ جمع‌بندی شده است. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده و این جدول‌ها، پارامترهای مخصوص به هر مصالح اختصاص داده شد.

جدول ۴: اطلاعات خاک‌های موجود در بستر و خاکریز (Newmark, 1985)

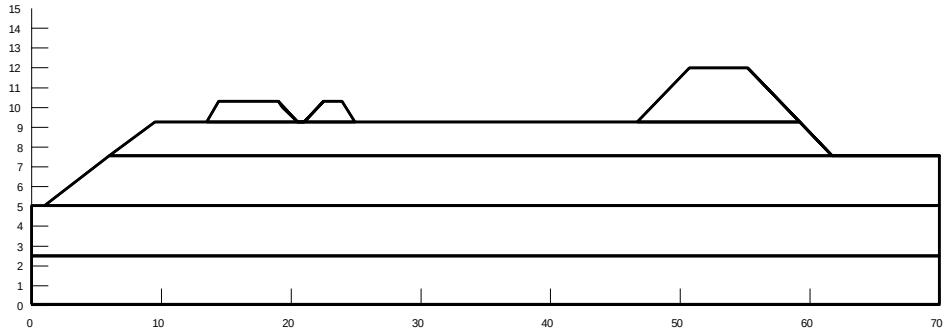
نام خاک در طبقه بندی USCS	نوع خاک	نفوذ پذیری	نفوذ پذیری ماکزیمم (m/s)	نفوذ پذیری مینیمم (m/s)
SM	ماسه سیلت دار	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	5.00E-06	1.00E-08
SC	ماسه رس دار	نفوذ ناپذیر	5.50E-06	5.50E-09
CL	رس با پلاستیسیته کم	نفوذ ناپذیر	5.00E-08	5.00E-10
SC-SM	ماسه رسی سیلت‌دار	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	5.00E-06	1.00E-08

جدول۵: ثابت‌های پلاستیک خاک‌های مختلف (AASHTO, 1995)

خاک	مدول الاستیسیته E(Mpa)	نسبت پواسون, ν
رس		
رس حساس	۲ – ۱۵	۰/۴ – ۰/۵
رس با سفتی متوسط	۱۵ – ۵۰	(زهکشی نشده)
خیلی سفت	۵۰ – ۱۰۰	
سیلت	۲ – ۲۰	۰/۳ – ۰/۳۵
ماسه ریز		
شل	۰۸ – ۱۲	۰/۲۵
متوسط	۱۲ – ۲۰	
متراکم	۲۰ – ۳۰	
ماسه		۰/۲ – ۰/۳۵
شل	۱۰ – ۳۰	
متوسط	۳۰ – ۵۰	۰/۳ – ۰/۴
متراکم	۵۰ – ۸۰	

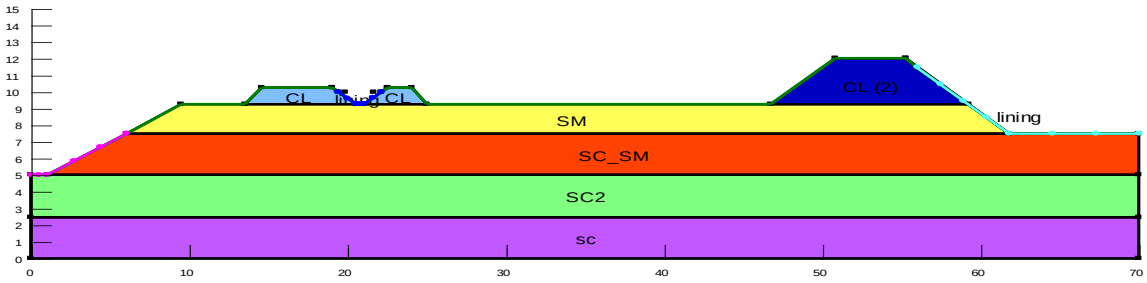
نتایج و بحث

ابتدا مدل‌سازی طبق اطلاعات دریافتی از شرکت سازنده همانند شکل ۷ انجام شد.



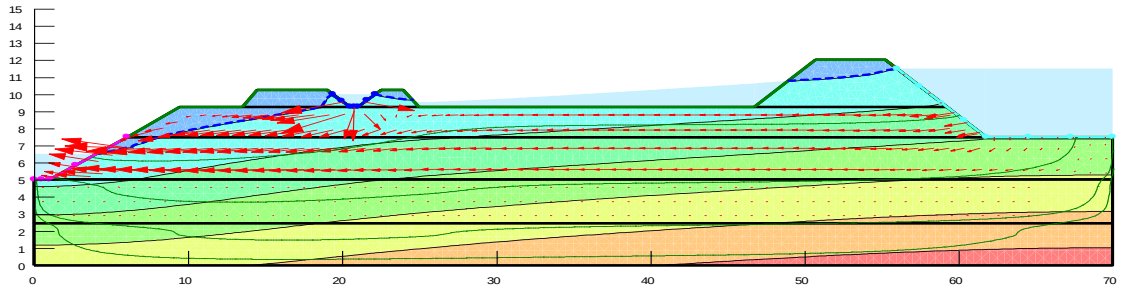
شکل۷: مدل‌سازی اولیه کانال با استفاده از نرم‌افزار Geo Studio

پس از اختصاص مصالح به هر بخش و اعمال شرایط مرزی و تعیین تراز آب، مدل کانال تخریب شده را مطابق شکل ۸ مدل‌سازی نمود.



شکل۸: مدل شبیه‌سازی شده

پس از تکمیل اطلاعات و مدل‌سازی در گام بعدی به تحلیل مدل با استفاده از آنالیز نشت جهت نشان دادن نقاط تخریب شده در حالت آنالیز نشت پرداخته می‌شود. شکل ۹ تحلیل نشت و سرعت جریان آب را نشان می‌دهد.



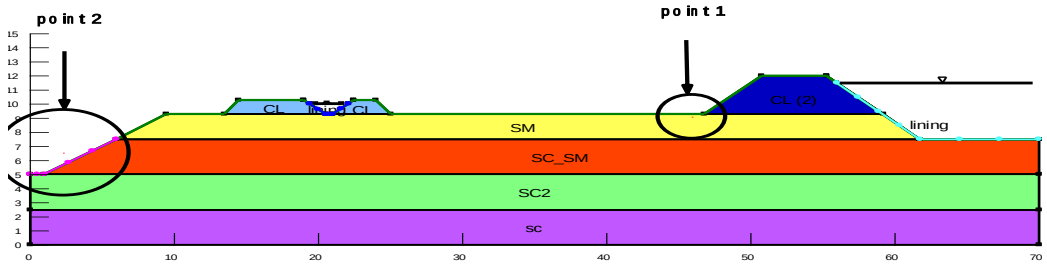
شکل۹: تحلیل مدل با استفاده از آنالیز نشت

در این تحقیق هدف آن است که با استفاده از مدلسازی، مدل مطابق آنچه در واقعیت موجود است، تخریب ایجاد شده در محل را در مدل نیز نشان دهد. بدین منظور با برداشت‌های میدانی دقیق و جایگذاری مختصات محل‌های تخریب شده در مدل، این نقاط مشخص گردید.

جدول ۶: مختصات نقاط تخریب شده

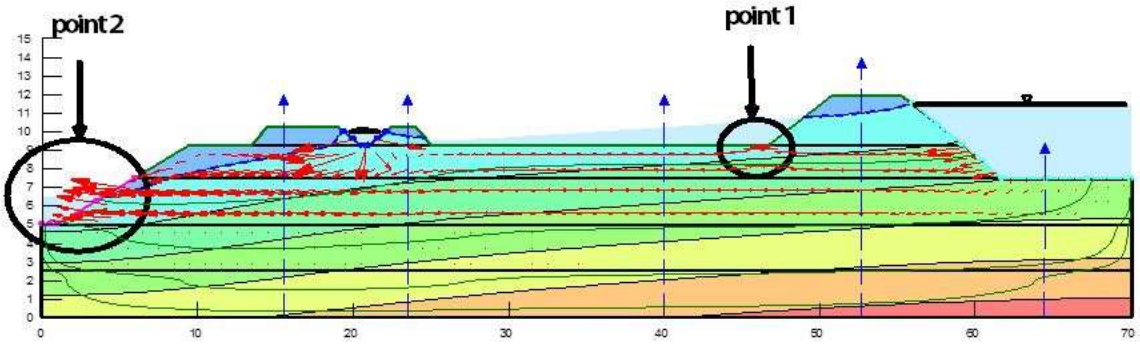
نقطه	X	Y
۱	۱	۵
۲	۴۷	۹/۲۵

با جای‌گذاری نقاط با مختصات فوق در مدل، طبق شکل ۱۰ محل‌های تخریب شده در واقعیت مشخص گردید.



شکل۱۰: مدلسازی نقاط تخریب شده در محل با استفاده از نرم‌افزار Geo Studio

در ادامه جهت بررسی تمام ابعاد و عوامل ایجاد تخریب در کانال، به شبیه سازی حالات مختلف پرداخته شده است. جهت شبیه‌سازی کانال اصلی در مدل ساخته شده ترک‌های جزئی در کانال تعبیه شد (شکل۱۱). جدول ۷ به خوبی میزان افزایش دبی ناشی از ایجاد ترک در پوشش کانال را نشان می‌دهد.



شکل۱۱: تحلیل ناشی از ایجاد ترک در پوشش کانال

جدول ۷: مقایسه دبی عبوری (m^3/sec)

مدل	مقطع ۱	مقطع ۲
شرایط موجود	۰۴E - ۲/۴۸	۰۴E – ۴/۳۰
شبیه سازی ایجاد ترک	۰۴E - ۲/۴۹	۰۳ E- ۵/۰۵

با توجه به مطالعات صورت گرفته از بستر کانال پای پل و بررسی علل موثر بر ایجاد فرسایش درونی خاک می‌توان دریافت که مشکل عمده نوع خاک بستر کانال می‌باشد که تعویض آن پس از بهره‌برداری عملا امکان‌پذیر نمی‌باشد. به منظور ترمیم تخریب‌های ایجاد شده می‌بایست ابتدا تحلیل مدل‌سازی شده را به‌دقت با استفاده از رابطه‌های مربوطه مورد

بررسی قرار داد. بر اساس تحلیل نشت و شکل ۱۱ می‌توان دریافت که یکی از عوامل مخرب در کانال، سرعت جریان آب و گرادیان هیدرولیکی در بستر کانال می‌باشد (رابطه ۱):

رابطه ۱: $$V = Ki$$

که در آن: v، سرعت جریان آب، K ، نفوذپزیری خاک و i ، گرادیان هیدرولیکی می‌باشد.

جهت کاهش احتمال واگرایی خاک می‌بایست از سرعت و انرژی آب کاسته شود. به این منظور مطابق رابطه ۱ و با توجه به ثابت بودن نفوذپذیری بستر کانال جهت کاهش سرعت جریان آب باید گرادیان هیدرولیکی کاهش یابد (رابطه ۲):

رابطه ۲: $$i = \frac{\Delta H_{AB}}{\Delta L_{AB}}$$

مطابق رابطه ۲ می‌بایست طول مسیر جریان آب افزایش یابد و از پدیده رگاب جلوگیری کند. پدیده رگاب به علت وقوع گرادیان هیدرولیکی بالا به هنگام تراوش رو به بالای آب اتفاق می‌افتد. برای محاسبه ضریب اطمینان در مقابل پدیده رگاب از رابطه ۳ استفاده می‌شود:

رابطه ۳: $$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_w} = \frac{(G_s - ۱)\gamma_w}{۱ + e} = \frac{G_s - ۱}{۱ + e}$$

با توجه به داده‌های موجود از مشخصات خاک و رابطه ۳ می‌توان گرادیان هیدرولیکی بحرانی را محاسبه نمود (e= ۰/۶۱ ، Gs= ۲/۷) (رابطه ۴):

رابطه ۴: $$i_{cr} = \frac{G_s - ۱}{۱ + e} = \frac{۲/۷ - ۱}{۱ + ۰/۶۱} = ۱/۰۵$$

با استفاده از رابطه ۵ مقادیر حاصل از محاسبات فوق می‌توان ضریب اطمینان پدیده رگاب را محاسبه نمود:

رابطه ۵: $$F.s = \frac{i_{cr}}{i_{\text{حداکثر}}}$$

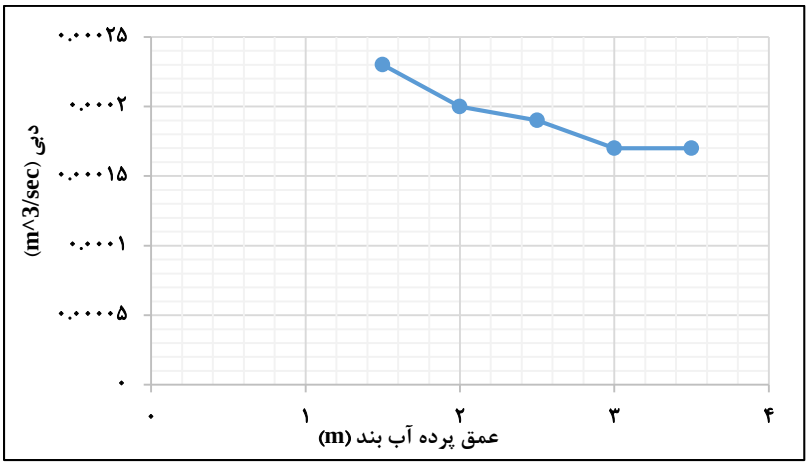
که در آن: F.S، ضریب پایداری در مقابل پدیده رگاب، i_{cr} ، گرادیان بحرانی و i ، گرادیان حداکثر می‌باشد.

در این تحقیق جهت افزایش طول مسیر جریان آب، راهکار پرده آب‌بند ارائه شده است. هدف از ساخت پرده آب‌بند در پی کانال کنترل میزان نشت آب و کاهش گرادیان هیدرولیکی جهت کاهش فرسایش درونی در پی و بدنه کانال‌ها است. جهت طراحی پرده آب‌بند باید به این مسئله توجه داشت که باید عمق و عرض پرده آب‌بند قابل اجرا باشد. پس از سعی و خطا و تحلیل با توجه به جدول ۸، طراحی پرده آب‌بند با بهینه‌ترین ابعاد مطابق، عمق ۳/۵ متر و عرض ۰/۵ متر طراحی

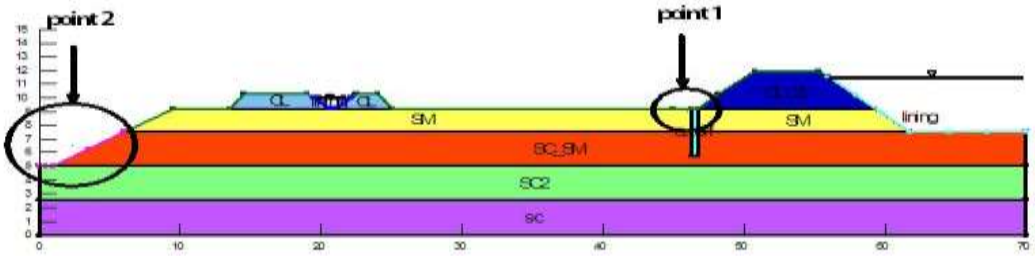
گردید. یکی دیگر از عوامل موثر بر تعیین عمق، محدودیت در توانایی ماشین آلات حفاری جهت ساخت پرده آب‌بند است که تا عمق ۳ الی ۳/۵ متر قابلیت اجرا و حفاری دارند.

جدول ۸: مقایسه دبی در مدل‌سازی با استفاده از ابعاد مختلف پرده آب‌بند

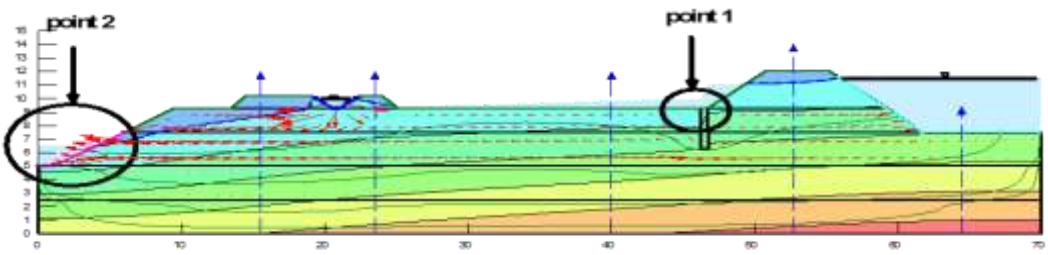
عمق پرده آب بند (m)	دبی (m^3/sec)
۱/۵	۰/۰۰۰۲۳
۲	۰/۰۰۰۲
۲/۵	۰/۰۰۰۱۹
۳	۰/۰۰۰۱۷
۳/۵	۰/۰۰۰۱۷



شکل ۱۲: نمودار عمق پرده آب‌بند



شکل ۱۳: مدل‌سازی پرده آب‌بند



شکل ۱۴: مدل‌سازی پرده آب‌بند

پس از ایجاد پرده آب‌بند، میزان فشار آب حفره‌ای به میزان چشم‌گیری کاهش یافت، اما همچنان امکان آبشستگی در نقاط تعیین شده وجود داشت. به منظور کاهش امکان تخریب می‌توان از المان ماهیچه استفاده نمود. جهت افزایش ضریب اطمینان و پایداری هرچه بیشتر سازه کانال‌ها و کاهش احتمال تخریب، می‌توان از این المان در مجاورت خاکریز استفاده نمود. جهت افزایش پایداری، می‌توان از المان‌های فوق با استفاده از رابطه‌های ۶، ۷ و ۸ استفاده کرد:

رابطه ۶:
$$F.S = \frac{\sigma}{u}$$

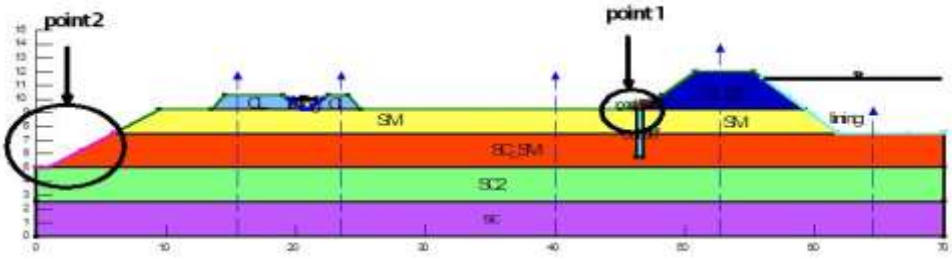
رابطه ۷:
$$\sigma = H \cdot \gamma = 1.75 * 17 = 29.75$$

رابطه ۸:
$$F.S = \frac{۲۹/۷۵}{۱۸/۲۵} = ۱/۶۳$$

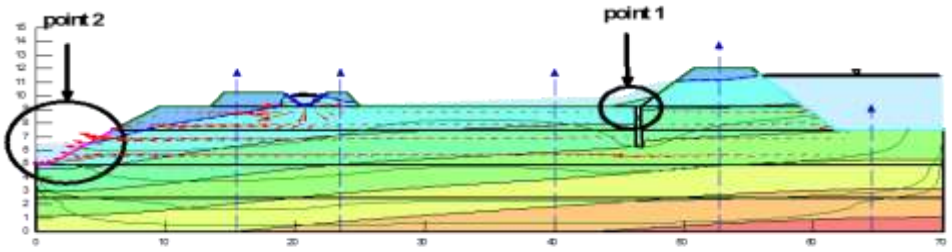
که در آن H ضخامت هر لایه، γ وزن مخصوص و u فشار آب حفره‌ای به‌دست آمده از نرم‌افزار است. جهت افزایش ضریب اطمینان و پایداری در نقطه یک می‌توان از المان ماهیچه جهت افزایش تنش و افزایش نیروی مقاوم طبق رابطه ۹ استفاده نمود:

رابطه ۹:
$$F.S = \frac{\text{نیرو مقاوم}}{\text{نیرو محرک}}$$

با توجه به مطالعات صورت گرفته و ایجاد پرده آب‌بند طبق رابطه ۹، با افزایش وزن و نیروی اعمالی بر نقطه یک با استفاده از ایجاد ماهیچه می‌توان به پایدارترین حالت رسید. به این منظور با استفاده از روش سعی و خطا و بررسی تغییرات ایجاد شده بر مقادیر تغییر یافته، ابعاد متفاوتی طراحی گردید که در نهایت بهینه‌ترین ابعاد بدست آمده، ماهیچه به ارتفاع ۰/۵ متر پیشنهاد و طراحی گردید.



شکل ۱۵: طراحی ماهیچه



شکل ۱۶: تحلیل ماهیچه و پرده آب بند طراحی شده

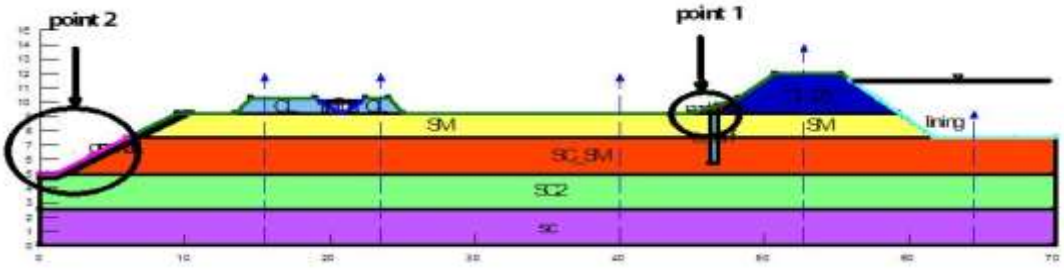
جدول ۹: مقایسه فشار آب حفره ای (kPa)

توضیحات	نقطه	u
قبل از ماهیچه	۲	۱۸/۲۵
بعد از ماهیچه	۲	۱۸/۱

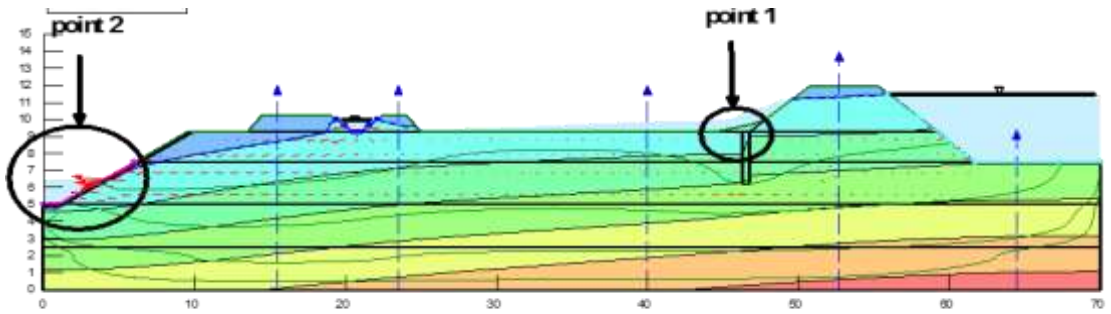
مطابق تحلیل و جدول ۹ می‌توان از المان ماهیچه جهت افزایش ضریب اطمینان پایداری استفاده نمود. پس از طراحی المان‌های مذکور جهت افزایش ایمنی سازه، طراحی فیلتر مطابق بررسی‌های انجام شده پیشنهاد گردید. یکی از مهمترین راهکارها جهت مقابله با آبشستگی مصالح، که ناشی از حمل تدریجی ذرات ریز خاک توسط جریان آب از میان ترک‌ها و خلل و فرج است، طراحی و ساخت فیلتر در بدنه کانال می‌باشد. فیلتر به عنوان یک خط دفاعی مطمئن می‌تواند به خوبی از تخریب کانال جلوگیری کند. از آنجایی که فیلتر یکی از قسمت‌های پر هزینه در ساخت سازه‌ها به شمار می‌رود، لذا مستلزم طراحی دقیق با مصالح مناسب می‌باشد.

$$F.s = \frac{i_{cr}}{i \text{ حداکثر}} = \frac{۱/۰۵}{۰/۲۶٤} = ۳/۹$$

با توجه به آنکه مقدار ضریب اطمینان بیشتر از یک حاصل شد، می‌توان نتیجه گرفت پس از ترمیم، کانال از پایداری و اطمینان مناسبی برخوردار است. مطابق مطالعات صورت گرفته جهت طراحی فیلتر می‌بایست از دو لایه شن و ماسه مطابق شکل ۱۷ استفاده کرد.



شکل ۱۷: طراحی فیلتر



شکل ۱۸: تحلیل مدل‌سازی انجام شده با فیلتر، پرده آب‌بند و ماهیچه

جدول ۱۰: مقایسه دبی عبوری

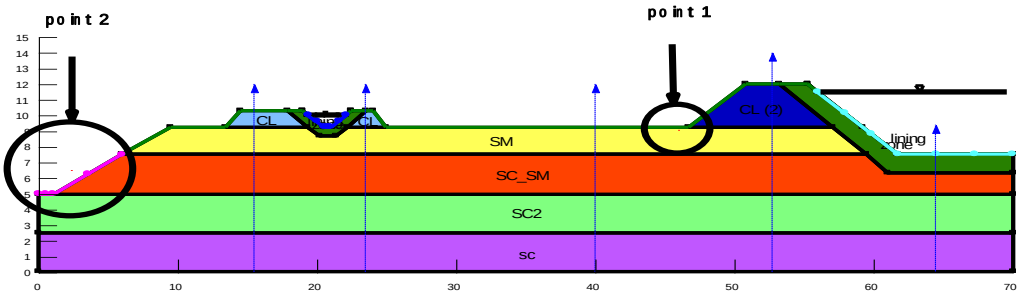
توضیحات	مقطع	دبی(m^3/sec)
قبل از ترمیم	۲	۰/۰۰۰۲۴
بعد از ترمیم	۲	۰/۰۰۰۱۹

جدول ۱۱: مقایسه حداکثر گرادیان هیدرولیکی

توضیحات	نقاط	x(m)	y(m)	هد کل	گرادیان
قبل از ترمیم	۳۳	۱	۵	۶/۵	۰/۳۶۷۰۳
بعد از ترمیم	۳۳	۱	۵	۶/۵	۰/۲۶۴۴

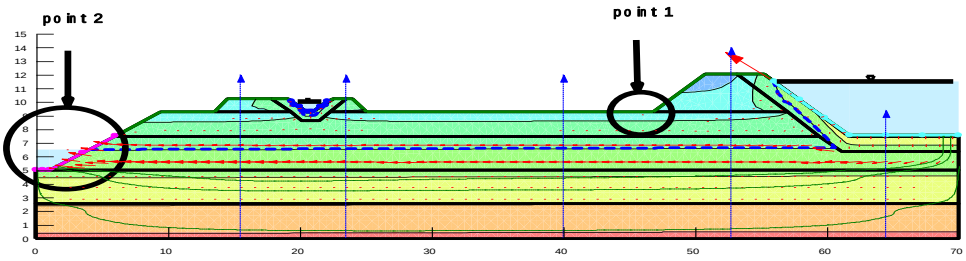
همان‌طور که در شکل و محاسبات فوق قابل مشاهده است پس از اعمال راهکارهای ترمیم، نشت آب به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت که این امر موجب کاهش آبشستگی و تخریب‌های گسترده در کانال‌های احداث شده در این نوع خاک‌ها می‌گردد. طراحی فیلتر سهم بسزایی در جلوگیری از این تخریب‌ها خواهد داشت. هدف از مطالعات فوق آن است که بتوان از راهکارهایی‌ای جهت کاهش میزان تخریب و خسارت استفاده کرد. هر چند راهکارهای فوق نیز نمی‌تواند به طور قطعی از این تخریب جلوگیری کند، چرا که این نوع خاک‌ها (خاک‌های مسئله‌دار) در مواجهه با آب دچار فرسایش و آبشستگی می‌شود، ولی می‌توان از میزان این تخریب‌ها کاست. طبق مطالعات انجام شده، می‌توان برای محل‌هایی که ناچار به استفاده از این نوع مصالح در ساخت کانال و سازه‌های آبی می‌باشد، راهکارهای دیگری نیز جهت جلوگیری از تخریب و افزایش مقاومت کانال‌ها ارائه داد. یکی از این راهکارها استفاده از مقاطع مرکب در ساخت کانال است. از آنجایی که دسترسی به خاک مرغوب و مناسب برای احداث کانال‌ها در برخی محل‌ها میسر نیست و همچنین حمل خاک قرضه مناسب از محل‌های دیگر صرفه اقتصادی ندارد، می‌توان از روش مقاطع مرکب بهره جست. این خاک می‌بایست از مقاومت بالایی در مواجهه با آب و رطوبت برخوردار باشد. برای این مقاطع می‌توان از خاک رس متراکم شده که نفوذپذیری ناچیزی دارد استفاده کرد. در این روش، می‌بایست بخشی از خاک محل مورد نظر (با توجه به ابعاد و ماهیت آن) تا عمق معین حفر

شده و با خاک قرضه مناسب جایگزین گردد. عمق مورد تعویض بسته به ماهیت و بزرگی سازه و نیز شیب هیدرولیکی مورد انتظار ممکن است از چند ده سانتی‌متر تا چند متر تغییر کند.



شکل ۱۹: استفاده از مقاطع مرکب

ابتدا باید در نظر داشت عمق طراحی شده باید قابلیت اجرا را نیز داشته باشد. به‌طوری که بتوان به خوبی خاک را در محل متراکم کرد. عمق بهینه طراحی شده در این قسمت دو متر در نظر گرفته شد، به‌طوری که کمترین میزان خاک قرضه را به جهت اقتصادی‌تر بودن آن داشته باشد و هم بتوان خاک را در محل متراکم نمود. شکل (۲۰) تحلیل تراوش با استفاده از مقاطع مرکب و حالت اولیه را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج حاصل از مدل تخریب شده و مدل اصلاح شده با مقاطع مرکب در جدول ۱۳ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل۲۰: تحلیل تراوش با استفاده از مقاطع مرکب و حالت اولیه

جدول ۱۲: مقایسه دبی عبوری (m^3/sec)

مدل	مقطع ۱	مقطع ۲
تخریب شده	۰۴ E- ۲/۴۸	۰۴ E-۴/۳۰
با مقطع مرکب	۰۶E - ۵/۲۵	۰۶E- ۶/۲۳

جدول۱۳: مقایسه حداکثر گرادیان هیدرولیکی

مدل	گرادیان
تخریب شده	۰/۳۶۷۱
با مقطع مرکب	۰/۰۰۶۴

به خوبی قابل مشاهده است که پس از استفاده از خاک قرضه مناسب و استفاده از مقطع مرکب، میزان نشت آب و گرادیان هیدرولیکی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. استفاده از این روش می‌تواند احتمال تخریب را کاهش و از تخریب جلوگیری کند. با توجه به اینکه اغلب مناطق کشور دارای خاک‌های مسئله‌دار هستند و اغلب ناچار به ساخت سازه‌ها بر روی این خاک می‌باشند، استفاده از روش مقاطع مرکب می‌تواند راهکار مناسبی جهت مقاوم‌سازی این سازه‌ها باشد. مشروط بر آنکه طراحی دقیق و خاک قرضه مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

استفاده از خاک نامناسب (همچون خاک‌های مسئله‌دار) در بستر کانال می‌تواند موجب تخریب در کانال گردد. مطالعات ژئوتکنیکی پیش از ساخت سازه‌های هیدرولیکی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جهت ترمیم تخریب‌های ایجاد شده می‌توان از المان‌های هیدرولیکی استفاده کرد. در مناطقی که دارای خاک نامناسب است، استفاده از روش مقاطع مرکب راهکار مناسبی جهت افزایش پایداری می‌باشد. با توجه به مطالعات و تحلیل مدل‌سازی صورت گرفته در احداث کانال در مناطقی که دارای خاک نامناسب است، توصیه می شود تا جایی که امکانات اقتصادی پروژه اجازه می دهد، خاک نامناسب برداشت شده و با مصالح قرضه مناسب با روش مقاطع مرکب جایگزین شود که این امر موجب افزایش پایداری و جلوگیری از فرسایش بستر کانال می‌شود. همچنین جهت جلوگیری از بروز خرابی مشابه در سایر پروژه‌ها پیشنهاد می‌شود، مطالعات ژئوتکنیکی دقیق توسط کارشناسان مربوطه انجام شود و مناسب بودن بستر کانال مورد تأیید قرار گیرد.

منابع

پوربنایی، س. ۱۳۹۲. آنالیز برگشتی رفتار دیوارهای مهارسازی شده با استفاده از مدل‌سازی عددی و نتایج پایش. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی عمران ـ مکانیک خاک و پی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه یزد.

جمشیدی خضرلو، ز.، مشکین، س. و رمضی، ح. ر. ۱۳۹۳. تحلیل ناپایداری ترانشه‌ای در مسیر قطعه یکم راه‌آهن اردبیل-میانه با استفاده از آنالیز برگشتی در نرم‌افزار SLIDE. اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی. دانشکده مهندسی عمران، دانشکده تربیت دبیر رجایی، تهران. تهران، ایران.

خیاط، ن.، حجتی، ب. و معتمد، س. ۱۳۹۱. تکنولوژی اصلاح خاک‌های دشت آزادگان و مدیریت عملیات اجرایی در مقاطع مرکب خاکریزی (مطالعه موردی کانال‌های AMC-3 و AMC-4)، سومین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه-های آبیاری و زهکشی، کرج.

عباسی، ن. و بهراملو، ر. ۱۳۹۶. بررسی علل شکستگی‌های پوشش بتنی کانال‌های انتقال آب (مطالعه موردی کانال اصلی شبکه آبیاری شبانکاره. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۹ (۷۰): ۸۴-۶۹.

مکارچیان، م. و صدقی، م. ۱۳۹۳. ارزیابی کنترل واگرایی خاک مسیر کانال‌های آبیاری و روش اصلاح آن. اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، تهران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

Saleh, L. A. 2018. Studying the seepage phenomena under a concrete dam using SEEP/W and Artificial Neural Network models. 2nd International Conference on Engineering Sciences, IOP Publishing, University of Karbala, Civil Engineering.

Recursive Analysis using to study of Main Channels Failure Causes and offering Solutions for repairing (Case Study: Paypol Main Channel)

H. Barmas[1] and N. Khayat[2]*

1) M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2) Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

***Correspondence author: khayat@iauahvaz.ac.ir**

Received Date: 2020.01.05 **Accepted Date: 2020.05.23**

Abstract

Canal construction has long been one of the most common ways to store and transport water. One of the main goals in designing water channels is to transport water from source to consumption point, with minimum leakage and operational costs. Studies have shown that many channels and hydraulic structures, have suffered minor/major destruction due to various reasons such as inappropriate bed rock and unsuitable soil. These problems cause a lot of damages and costs. One of these structures is the Paypol canal located in Khuzestan province, which has been destroyed. in order to predict the causes of channels destruction, channel's bedrock soil properties should be accurately determined. Since determining these parameters are possible with experiments on bores, or using field tests, but these tools are usually erroneous. Therefore, recursive analysis method is one of the tools for reducing these uncertainties. This method can be used to design structures with a higher reliability. In this study, with the use of recursive analysis method, and Geo Studio software, and field data, the channel is designed and after controlling the performance and validity of the software, some recommendations are presented for repairing the cracks. Finally, after reviewing the causes of the damages, the channel improvement method is presented and modeled.

Keywords: Channel recovery, problematic soil, irrigation channel fill, composite cut design and Recursive Analysis.