

بررسی رفتار پوشش‌های بتنی کانال‌های آبیاری واقع بر بستر اصلاح شده با آهک و سیمان

امیر شریفی^۱، حجت احمدی^{۲*} و کامران زینالزاده^۳

چکیده

در این پژوهش، رفتار پوشش‌های بتنی کانال‌های آبیاری قرار گرفته روی سه نوع بستر متشکل از خاک بدون مواد افزودنی، خاک دارای آهک ۲٪ و خاک دارای مخلوط ۴٪ سیمان و ۴٪ آهک، با استفاده از مدل پلاکزیس بررسی شده است. به منظور کالیبراسیون مدل از نتایج آزمایش تک‌محوری انجام یافته روی این سه نوع خاک استفاده شد. ابعاد مختلفی از کانال با پوشش بتنی با شیب‌های جانبی ۲، ۱/۵، ۱ و $Z=1$ بررسی شد و لنگر خمشی وارد بر پوشش بتنی قرار گرفته روی این کانال‌ها در شرایط مختلف کارکرد کانال شامل انتهای مرحله ساخت، کانال پر و حالت نشت معکوس مقایسه شد. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد با افزودن ۲٪ آهک و مخلوط (۴٪ آهک و ۴٪ سیمان) به خاک بستر، مقدار لنگرهای وارده به پوشش بتنی بستر به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. این کاهش لنگر خمشی در نمونه دارای مخلوط آهک و سیمان (۴٪ آهک و ۴٪ سیمان) بیشتر از نمونه حاوی آهک ۲٪ تعیین شد. همچنین مقایسه نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها نشان می‌دهد با افزایش ابعاد کانال لنگرهای خمشی بزرگ‌تری به پوشش بتنی وارد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پلاکزیس، شیب جانبی، خاک مشکل‌زا، لنگر خمشی، مواد افزودنی.

ارجاع: شریفی ا. احمدی ح. و زینالزاده ک. ۱۳۹۶. بررسی رفتار پوشش‌های بتنی کانال‌های آبیاری واقع بر بستر اصلاح شده با آهک و سیمان. مجله پژوهش آب ایران. ۲۴: ۱-۱۱.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

*نویسنده مسئول: hojjat.a@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۴

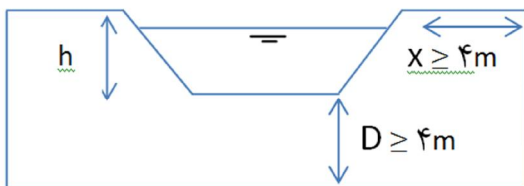
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۰۶

مقدمه

با توجه به اینکه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها باهم متفاوت است، انجام بررسی‌های ژئوتکنیکی برای شناسایی خاک ضروری است. در اصطلاح مهندسی ژئوتکنیک، بخشی از مصالح خاکی دارای رفتار ویژه‌ای بوده و ساخت و ساز بر آن‌ها دارای مشکلات بالقوه است که به این نوع خاک‌ها، خاک‌های مشکل‌آفرین گفته می‌شود. این خاک‌ها را می‌توان خاک‌های حساس در مقابل آب نیز نامید (رحیمی، ۱۳۸۳؛ بارتکوب و همکاران، ۱۳۸۴). از آنجا که وجود خاک‌های مشکل‌آفرین در بستر کانال، موجب تغییرات حجم خاک در پشت پوشش کانال و خاکریز اطراف آن می‌شود، بنابراین این تغییر حجم در سطح پوشش به صورت بروز ترک‌های طولی در امتداد محور کانال و یا جابجایی و بالا زدگی پوشش‌های بتن نمایان می‌شود. خسارت در روی خاکریز کانال‌ها نیز عموماً به صورت ایجاد یک یا چند ردیف ترک‌های طولی روی تاج خاکریز و در امتداد موازی محور طولی خاکریز در محدوده تغییرات رطوبتی بروز می‌کند (رحیمی، ۱۳۷۹). در طراحی کانال‌های آبیاری شیب‌های جانبی بر اساس جنس خاک بستر و شرایط ژئوتکنیکی محل تعیین می‌گردد. شیب جانبی کانال‌های آبیاری از نظر تقسیم‌بندی جزو شیب‌های محدود است. این شیب‌ها از بخش بالایی معمولاً به جاده سرویس کانال و در قسمت پایین به کف کانال منتهی می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). عرض کف معمولاً به صورت تابعی از عمق کانال بیان می‌شود. اندازه سطح مقطع کانال‌های دوزنقه‌ای شکل، رابطه مستقیم با مقدار شیب جانبی دارد و برای بهترین مقطع هیدرولیکی، مقدار آن برابر ۶۰ درجه است (چاو، ۱۹۵۹). احمدی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی پایداری شیب‌های جانبی کانال‌های ساخته شده روی بسترهای مختلف، جداولی را برای انتخاب شیب‌های مجاز و پایدار بر مبنای نوع خاک ارائه کردند. پوشش‌های بتنی در حالت کلی برای جلوگیری از نشست آب و بالا بردن سرعت جریان آب، برای افزایش راندمان انتقال و توزیع آب استفاده می‌شود. بعد از اینکه کانال مدتی در حال پر قرار گرفت، به سبب وجود درزهای انبساطی، انقباضی و اجرایی و نفوذپذیری بتن، خاکریزهای پشت بتن به حالت اشباع در می‌آید و با قطع آب در کانال و پایین افتادگی سطح آب در آن، جریان نشست معکوس در آن به وجود و به صورت

هیدرواستاتیک به پشت پوشش اعمال و لنگر خمشی زیادی را به بتن وارد می‌کند و باعث تخریب آن می‌شود (احمدی و همکاران، ۲۰۰۹). بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده در ایران و جهان، روش‌هایی برای اصلاح و کنترل خسارات ناشی از خاک‌های مشکل‌آفرین پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها، افزودن مواد اصلاح‌کننده است. آزمایش‌هایی روی پایدار کردن رس‌های آلی به وسیله آهک صورت پذیرفته است (دریائی و کاشفی‌پور، ۱۳۹۰). دیاموند (۱۹۷۵) با مطالعه در مورد ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌های رسی بهسازی شده، به این نتیجه رسید که می‌توان از این خاک‌ها برای زیرسازی باند فرودگاه‌ها، ساخت سدهای خاکی و همچنین در نواحی از سازه‌های آبی که امکان فرسایش وجود دارد استفاده کرد. هموند (۱۹۹۲) در مورد بهسازی و افزایش مقاومت خاک‌های رسی تثبیت شده با آهک مطالعاتی را انجام داد و به این نتیجه رسید که مقاومت مخلوط خاک رس و آهک، به حدی است که می‌توان از آن برای عملیات خاک‌برداری کانال‌ها، تثبیت شیب جانبی کانال‌ها و همچنین برای پی‌سازی در سازه‌هایی استفاده کرد که بار وارده از آن‌ها به پی زیاد نیست. چن (۱۹۷۵) و جاستو و همکاران (۱۹۸۵) نشان دادند که بارزترین آسیب‌های وارد بر سازه‌های تأسیس شده روی خاک‌های متورم شونده، ناشی از تورم و انقباض خاک بوده است. کاتی و کاتی (۱۹۹۴) شیب‌های جانبی کانال‌های آبیاری را که تخریب شده بودند، بررسی و مشاهده کرد دلیل آن بالا زدگی خاک بستر کانال بوده است که کارکرد کانال را نیز مختل کرده بود. مورتی و پراوین (۲۰۰۸) و ساهو و پرادهان (۲۰۱۰) گزارش دادند که تثبیت شیمیایی خاک در خاک‌های متورم شونده به طور مؤثری از میزان صدمات به پوشش‌های کانال‌ها و سازه‌ها می‌کاهد. طبق پژوهش‌های لیتل و نایر (۲۰۰۹)، گویر (۲۰۱۱)، راثو (۲۰۱۱) و شارما و همکاران (۲۰۱۲) آهک به عنوان یک ماده تثبیت‌کننده خوب همراه خاکستر بادی برای بهبود خاک به کار می‌رود. شارما و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که در خاک‌های تثبیت‌شده با آهک و خاکستر بادی به دلیل واکنش یوزولانی این مواد با خاک، ترکیبات سیمانی جدید درست و باعث کاهش فضاهای خالی خاک می‌شود. پژوهش‌های انجام یافته روی شبکه‌های مختلف آبرسانی و آبیاری نشان داده است که بیشترین عامل کارکرد نادرست در این گونه

کولمب استفاده شد که مدل مناسبی برای بررسی انواع مختلف مصالح است. رفتار پوشش بتنی به صورت الاستیک و همچنین رفتار خاک به صورت یک ماده الاستوپلاسیک در نظر گرفته شد. مقاطع در نظر گرفته شده برای کانال‌های آبیاری در این پژوهش به صورت دوزنقه‌ای و متقارن فرض شده است. مقطع عرضی کانال دوزنقه‌ای، یک شکل متقارن است و می‌توان برای کاهش حجم محاسبات، فقط نصف آن را در مدل عددی نظر گرفت؛ اما برای بررسی بهتر و تعیین الگوی تغییرات شکل واقع‌بینانه‌تر به اقتباس از کارهای محققان دیگر، سطح مقطع کانال به طور کامل مدل شد (احمدی و همکاران، ۲۰۰۹). سطح مقطع و ابعاد عمومی کانال بررسی شده در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طوری که در شکل ۱ نشان داده شده است، عرض بالادست شیب‌های جانبی کانال برابر چهار متر، همچنین حداقل فاصله لایه سخت تا کف کانال (فاکتور عمق) چهار متر در نظر گرفته شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). عمق کانال در مقاطع بررسی شده بین دو متر تا شش متر متغیر انتخاب شد. همچنین شیب جانبی کانال در سه حالت مختلف ۱:۱، ۱:۱/۵ و ۱:۲ در نظر گرفته شد و فاصله‌ای برابر ۰/۲ عمق کانال به عنوان ارتفاع آزاد کانال در محاسبات منظور شد. در بررسی حالت‌های مختلف کارکرد کانال، سه حالت اصلی شامل انتهای مرحله ساخت، حالت کانال پر و حالت نشست معکوس یا پایین افتادگی ناگهانی سطح آب در کانال مدل شد.



شکل ۱- ابعاد و مقطع هندسی کانال بررسی شده در پژوهش

برای شبیه‌سازی شرایط واقعی و طبیعی حاکم بر کانال بتنی، تحلیل‌های صورت گرفته به ترتیب عبارت بود از: ساخت کانال خاکی به صورت برش و خاک‌برداری، اجرای پوشش بتنی، آب‌اندازی و کارکرد با ظرفیت پر و در نهایت نشست معکوس و پایین افتادن ناگهانی سطح آب. برای کالیبره کردن مدل عددی از نتایج آزمایش تک‌محوری انجام شده روی سه نمونه خاک با مواد

سازه‌ها، شکستگی‌های پوشش بتنی است. در بیشتر موارد دلیل اصلی شکستگی، مشکلات ژئوتکنیکی و خاک‌های مسأله‌دار عنوان شده است (رحیمی و بارتکوب، ۱۳۷۵). چن (۱۹۷۵) در مورد میزان آهک مورد نیاز برای تثبیت خاک‌های رسی مطالعاتی انجام داد و به این نتیجه رسید محدوده آهک مورد نیاز برای تثبیت خاک‌های رسی بین ۲٪ تا ۸٪ است. براون و رابینسون (۱۹۸۶) مطالعاتی برای تعیین مقاومت مورد نیاز از مخلوط یکنواخت ملات سیمان- آهک برای جلوگیری از نشست را انجام داد. براون و سرکر (۱۹۸۷) با بررسی مقاومت خمشی ملات سیمان- آهک نشان دادند مقاومت خمشی نمونه‌های ساخته شده با سیمان- آهک نسبت به نمونه‌های ساخته شده با مواد سیمانی دیگر بیشتر است. احمدی و همکاران (۱۳۹۱) با انجام مطالعات عددی نشان دادند ابعاد کانال تأثیر مستقیم بر لنگر وارده بر پوشش‌های بتنی کانال‌ها دارد. همچنین یافته‌های این پژوهشگران نشان داد که با افزایش مدول الاستیسیته خاک از مقدار لنگرهای وارده بر پوشش کاسته می‌شود. علاوه بر این نسبت عمق کانال به عرض کف، عاملی مؤثر در کنترل نیروها و لنگرهای وارده بر پوشش‌های بتنی است.

در این پژوهش رفتار پوشش‌های بتنی واقع بر بسترهایی بررسی می‌شود که با مواد افزودنی آهک و سیمان اصلاح شده‌اند. در واقع هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر مواد افزودنی شیمیایی است که در پروژه‌های مهندسی ژئوتکنیک برای اصلاح خاک‌های سست و مشکل‌دار استفاده می‌شود؛ به طوری که نقش این مواد در کاهش صدمات احتمالی وارد بر پوشش کانال‌ها ارزیابی شده است. سعی شده است که در این خصوص تأثیر اصلاح جزئی (۲٪ آهک) و اصلاح بیشتر با افزودن مخلوط سیمان و آهک بررسی و تأثیر این مواد افزودنی در بهبود رفتار خاک بستر و تأثیر آن بر پوشش‌های بتنی به صورت کمی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، برای انجام محاسبات از بسته نرم‌افزاری پلاکزیس نسخه ۸/۲ استفاده شد. این نرم‌افزار، بر اساس روش اجزای محدود معادلات حاکم بر محیط خاک را به همراه مصالح مختلف نظیر پوشش‌های مختلف مدل می‌کند. از مدل‌های متعدد رفتاری موجود برای شبیه‌سازی رفتار خاک در این نرم‌افزار، مدل موهر-

موجود، آهک ۲٪ کمترین تأثیر و مخلوط (۴٪ سیمان و ۴٪ آهک) بیشترین تأثیر را در مقاومت نمونه‌ها داشتند (مهرموسوی و بهمنش، ۱۳۹۰). جدول ۱، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک مورد استفاده در پژوهش را نشان می‌دهد.

افزودنی مختلف استفاده شده است. نمونه اول خاک بدون مواد افزودنی است و دو نمونه دیگر خاک‌های حاوی ۲٪ آهک و مخلوط ۴٪ سیمان و ۴٪ آهک استفاده شد. معیار استفاده از خاک‌های حاوی آهک ۲٪ و مخلوط سیمان و آهک (۴٪ سیمان و ۴٪ آهک) این بود که در بین داده‌های

جدول ۱- مشخصات مربوط به نمونه خاک‌های مورد بررسی

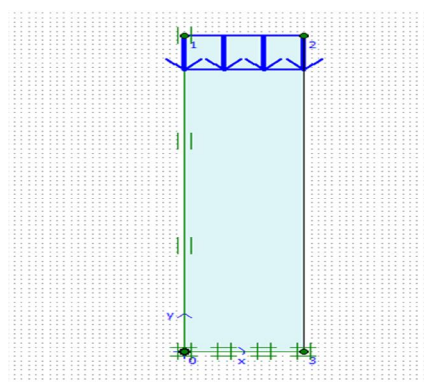
نوع خاک	حدود اتربرگ			وزن مخصوص		تنش ماکزیمم	مدول الاستیسیت
	PI%	wP%	wL%	$\gamma_{unsat}(Kn.m^{-3})$	$\gamma_{sat}(kN.m^{-3})$	$\sigma_{max}(kPa)$	E(kPa)
بدون افزودنی	۱۲/۹۱	۱۳/۳۹	۲۶/۳۳	۱/۸۲	۲۰/۱۰	۴۵۱/۸۱	۴۷۹۴/۸۶
خاک+۲٪آهک	۵/۷	۳۳/۳	۳۹	۱/۷۶	۲۰/۴۲	۱۱۷۲/۷۶	۲۷۹۶۳
خاک+۴٪آهک+۴٪سیمان	۱۶/۵	۲۲	۳۸/۵	۱/۷۳	۲۰/۲۴	۱۲۶۶/۴	۵۴۹۴۰/۶۶

نمونه مورد بررسی، نشان داده شده است. همچنین نتایج نهایی مربوط به ویژگی‌های سه نمونه خاک مورد مطالعه پس از کالیبراسیون در جدول ۲ ارائه شده است. به طوری که برای حداقل کردن خطاهای محاسباتی و عددی مقادیر زاویه اصطکاک داخلی در نمونه‌های تست شده برابر با ۰/۲ درجه در نظر گرفته شد.

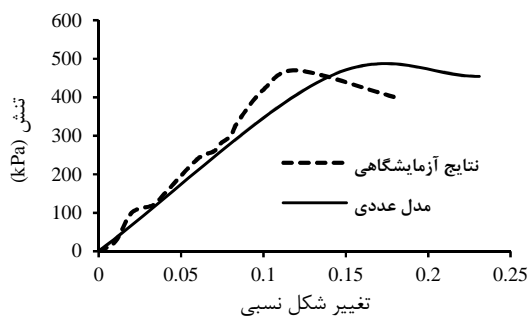
کالیبراسیون مدل

برای کالیبراسیون مدل از داده‌های حاصل از انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری محصور نشده (برش تک‌محوری) بر اساس استاندارد ASTM D 2166-87، روی نمونه‌های خاک تهیه شده استفاده شد. نمونه‌های آزمایشی به شکل استوانه‌ای با ارتفاع هفت سانتی‌متر و قطر ۳/۴ سانتی‌متر بود (برای هر سه نمونه خاک، خاک بدون مواد افزودنی، خاک با ۲٪ آهک، خاک همراه ۴٪ سیمان و ۴٪ آهک). با توجه به استوانه‌ای شکل بودن نمونه در آزمایش تک‌محوری با سطح مقطع مدور، شبیه‌سازی رفتار نمونه‌ها با نرم‌افزار پلاکزیس در حالت تقارن محوری (Axisymmetric) انجام شد. در آزمایش تک‌محوری، از آن‌جایی که نمونه روی پایه فولادی صلب قرار دارد، شرایط مرزی بخش پایینی مدل از نوع ثابت (Fixed) و تغییر مکان المان‌های قرار گرفته در این مرز در تمام جهات صفر در نظر گرفته شد. برای مرز چپ شرایط مرزی جهت حرکت از نوع غلطکی با درجه آزادی در جهت محور y انتخاب شد. همچنین برای مرز سمت راست در هر دو جهت محورهای x و y آزاد انتخاب شد. در شکل ۲ هندسه مدل مربوط به آزمایش تک محوری نشان داده شده است. مطابق آزمایش از روش کرنش کنترل شده استفاده شد. در این مدل از شبکه‌بندی بی‌ساختار نامنظم با المان‌های مثلثی پانزده گرهی استفاده شد.

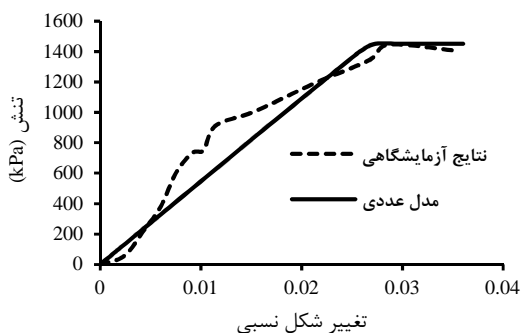
در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ بهترین حالت هم‌پوشانی گراف‌های مربوط به نتایج آزمایشگاهی و مدل پلاکزیس برای هر سه



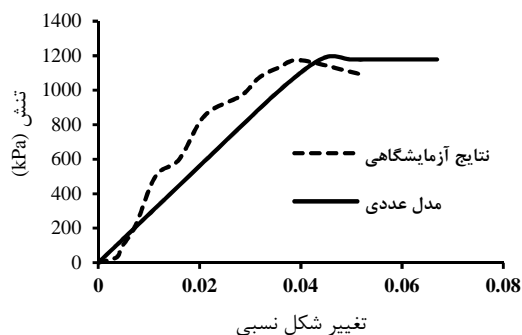
شکل ۲- مدل آزمایش تک‌محوری بررسی شده در نرم‌افزار پلاکزیس



شکل ۳- مقایسه نمودارهای تنش-کرنش برای خاک بدون مواد افزودنی، مدل پلاکزیس و داده‌های آزمایشگاهی



شکل ۵- مقایسه نمودارهای تنش- کرنش برای مخلوط خاک ۴٪ سیمان و ۴٪ آهک، مدل پلاکزیس و داده‌های آزمایشگاهی



شکل ۴- مقایسه نمودارهای تنش- کرنش برای مخلوط خاک و ۲٪ آهک، مدل پلاکزیس و داده‌های آزمایشگاهی

جدول ۲- ویژگی‌های سه نمونه خاک بعد از کالیبره کردن مدل

نمونه‌ها	مدول یانگ (kN.m^{-2})	نسبت پواسون	چسبندگی (kN.m^{-2})	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	زاویه اتساع (درجه)
خاک	۴۷۷۷	۰/۲۸	۲۲۵	۰/۲°	صفر
خاک + ۲٪ آهک	۲۷۴۹۰	۰/۳	۵۸۷	۰/۲°	صفر
خاک + ۴٪ آهک + ۴٪ سیمان	۵۴۱۷۰	۰/۲۹	۶۳۳	۰/۲°	صفر

جدول ۳- مشخصات بتن به کار رفته در مدل‌سازی پوشش بتنی کانال (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱)

مقاومت کششی MPa	مقاومت فشاری MPa	نسبت پواسون	مدول الاستیسیته MPa	وزن واحد حجم kN/m^3
۴-۲/۵	۳۵-۲۵	۰/۲۵-۰/۲	۳۰۰۰۰-۲۰۰	۲۴-۲۳

نتایج و بحث

در این بخش از مطالعه برای بررسی کلی چگونگی توزیع نیروهای وارده بر پوشش‌های بتنی هیچ‌گونه درزی در پوشش‌های کف و یا دیواره‌های جانبی در نظر گرفته نشد. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل نیروهای وارده بر پوشش‌های بتنی کانال‌های آبیاری، الگوی نیروهای وارده در کلیه شیب‌های مورد مطالعه، مشابه بود و فقط در مقدار و جهت نیروها و لنگرهای وارده تفاوت وجود داشت که در ذیل هریک از حالات بررسی شده به تفصیل بیان می‌شود.

بررسی رفتار پوشش بتنی در بسترهای اصلاح شده

از مراحل بحرانی در ساخت سازه‌های خاکی که می‌تواند منجر به ناپایداری سازه شود انتهای مرحله ساخت است که در این سازه‌ها به دلیل افزایش رطوبت برای تراکم حداکثری، فشار آب منفذی بالا می‌رود و این موضوع باعث بوجود آمدن شرایط بحرانی به دلیل کاهش تنش‌های مؤثر می‌شود. علاوه بر این حالت، حالت پر کانال، به ویژه در لحظات اولیه آبیاری و حالت نشت معکوس، جزو بحرانی‌ترین شرایط ممکن است. برای مدل‌سازی رفتار پوشش‌های بتنی در این حالت‌ها مدل‌سازی رفتار پوشش

بتنی واقع بر بدنه کانال بررسی و ارزیابی شد که نتایج آن به شرح زیر ارائه شده است:

انتهای مرحله ساخت

انتهای مرحله ساخت حالتی از کانال است که ساخت کانال به اتمام رسیده و در مرحله آبیاری است. همچنین این حالت زمانی می‌تواند اتفاق بیفتد که زمانی زیادی از قطع آب در کانال گذشته باشد. در این حالت، لنگرهای وارده بر پوشش بیشتر متأثر از وزن خود پوشش‌های بتنی قرار گرفته در کف و دیواره جانبی کانال است. نتایج مربوط به این حالت از تحلیل در شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل حالات مختلف شامل شیب‌های مختلف و خاک بستر در ابعاد مختلف از کانال در نسبت‌های عمق به عرض کف کانال نشان داده شده است. بررسی نمودارهای ارائه شده در این شکل نشان می‌دهد افزایش نسبت عرض کف به عمق کانال با افزایش لنگرهای وارده بر پوشش‌ها همراه است. مقایسه شیب نمودارهای ارائه شده نشان می‌دهد با افزایش ابعاد کانال (عمق کانال) نرخ افزایش لنگر وارده نیز بیشتر می‌شود. همچنین مقایسه نمودارها از سمت راست به چپ نشان می‌دهد افزایش مواد افزودنی آهک و همچنین مخلوط آهک و

می‌گیرد. در مقایسه بین خاک دارای مخلوط سیمان با آهک و خاک دارای آهک مشاهده می‌شود این کاهش لنگر خمشی در خاک دارای مخلوط آهک و سیمان بیشتر بوده و با افزایش ابعاد کانال مقدار این کاهش نیز بیشتر شده است. علت این پدیده، ممکن است به مقدار نیروهای وارده بر پوشش بتنی بستگی داشته باشد؛ زیرا در کانال‌های بزرگ میزان نیروی وارده بیشتر می‌شود. همچنین افزودن مواد سیمانی مانند آهک و سیمان موجب اصلاح ویژگی‌های مهندسی خاک نظیر مدول الاستیسیته شده است.

حالت نشت معکوس

حالت نشت معکوس یا پایین افتادن سریع سطح آب در کانال با پوشش بتنی، می‌تواند یکی از بحرانی‌ترین حالات باشد؛ زیرا وقتی کانال پر از آب است، مقداری آب از پوشش بتنی و درزهای موجود در بدنه کانال به داخل خاکریز و دیواره‌های جانبی نشت می‌یابد و باعث بالا رفتن فشار آب منفذی و اشباع شدن خاک زیر پوشش بتنی می‌شود. پس از قطع آب در کانال، فشاری که از پشت دیواره‌ها و کف به پوشش وارد می‌شود، می‌تواند موجب خرد شدن آن شود. در شکل ۸، نتایج مربوط به رفتار پوشش‌های بتنی و اندرکنش آن‌ها با بستر کانال در حالت نشت معکوس یا پایین افتادگی ناگهانی سطح آب نشان داده شده است.

در هر سه نمونه خاک، با افزایش مقدار Z ($Z, 1:Z$) کتانژانت زاویه خارجی شیب دیواره) یا به عبارتی با ملایم‌تر شدن شیب دیواره جانبی کانال از مقدار لنگرهای خمشی وارد بر پوشش بتنی کاسته شده است. همچنین مقایسه این حالت از کارکرد کانال با سایر حالات بررسی شده قبلی، نشان می‌دهد مقدار لنگرهای خمشی وارده بر پوشش‌های بتنی در تمامی شیب‌ها و ابعاد کانال در نسبت خاصی از B/H دارای یک مقدار حداقل است. علت چنین رفتاری، تفاوت در جهت نیروهای وارده بر پوشش بتنی است؛ به طوری که نیروهای وارده شامل نیروی فشار آب پشت کانال و همچنین نیروی حاصل از وزن خود پوشش کانال در خلاف جهت هم وارد می‌شوند. این امر سبب می‌شود این نیروها در نسبت عرض به کف برابر با $0/75$ بیشترین تأثیر را در خنثی کردن یکدیگر داشته باشند و در نتیجه، لنگرهای وارده بر پوشش بتنی در این شرایط

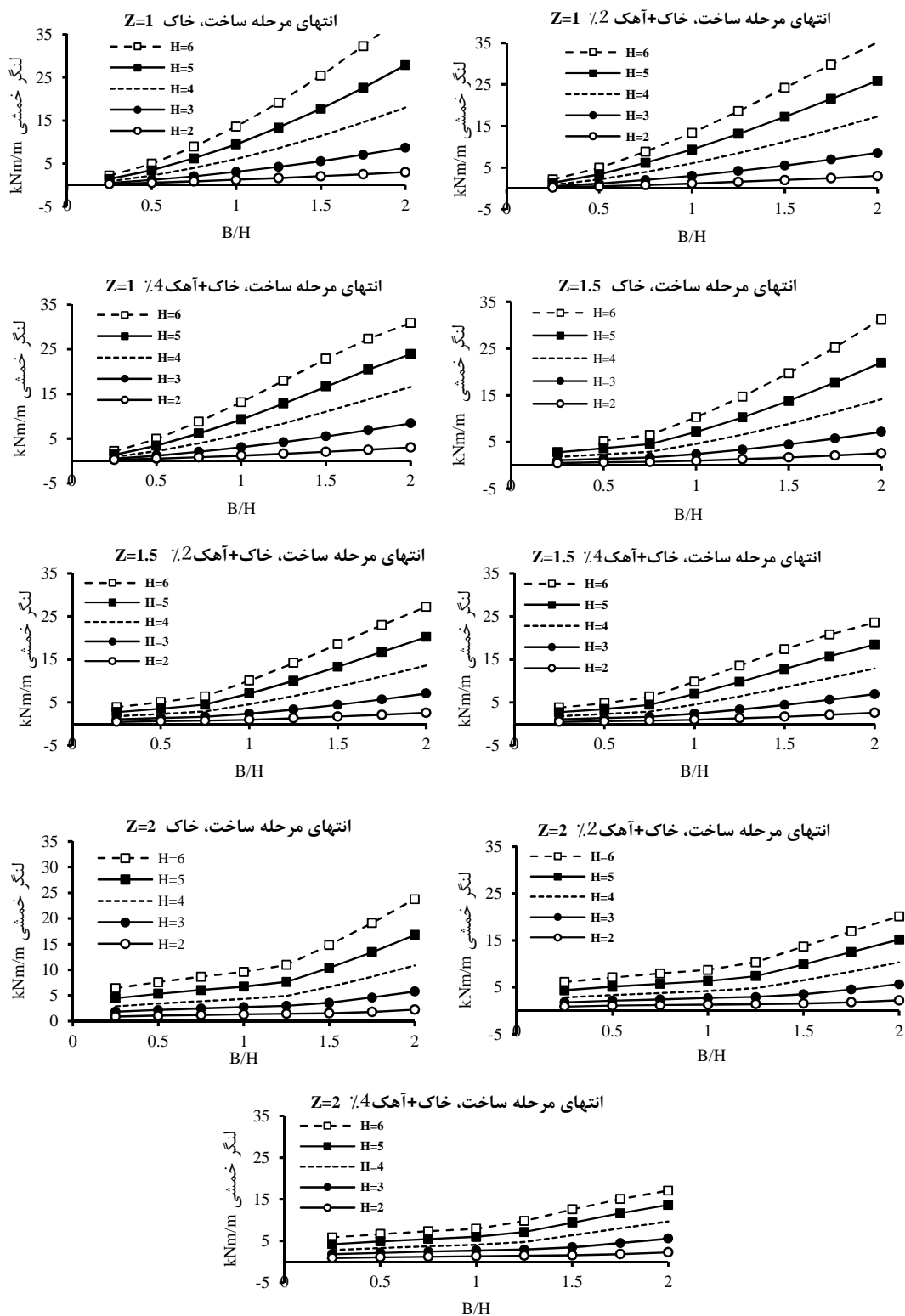
سیمان موجب کاهش لنگرهای وارده به پوشش‌های بتنی شده است. علاوه بر این مقایسه نمودارها از بالا به پایین نشان دهنده این است که با افزایش مقدار Z (شیب جانبی کانال‌ها) مقدار لنگر وارده کاهش پیدا کرده است. علت کاهش لنگر خمشی با افزایش مقدار Z را می‌توان در کاهش سطح تصویر عمودی پل‌های بتنی دانست؛ زیرا با ملایم‌تر شدن شیب جانبی و به تبع آن کاهش تصویر پانل‌ها در جهت قائم نیروهای مقاوم^۱ وارد از طرف خاک و بتن بر هم کاهش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش ماده‌ی افزودنی طبق جدول ۱ و ۲ مقدار مدول الاستیسیته خاک افزایش یافته و در نتیجه از میزان لنگرهای وارده بر پوشش بتنی کاسته شده است.

حالت کانال پر

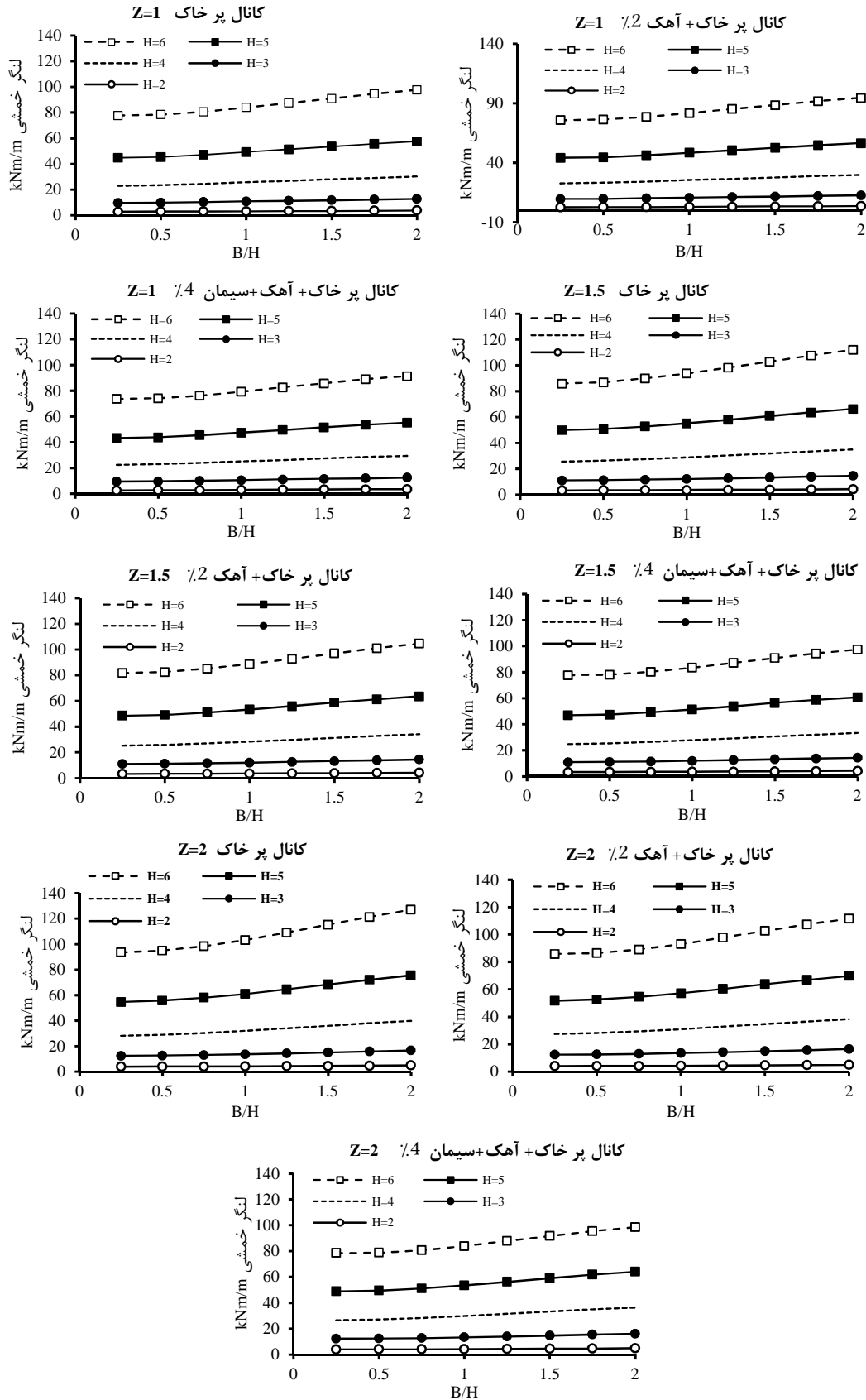
در این حالت، کانال پر از آب بوده و $0/2$ از عمق کانال به عنوان ارتفاع آزاد در نظر گرفته شده است. شکل ۷، نتایج مربوط به این بررسی را نشان می‌دهد. در این شکل لنگرهای وارده نسبت به عمق کانال به نسبت B/H رسم شده است. در حالت کانال پر به سبب نفوذپذیری بسیار پایین پوشش، دیواره‌های جانبی خشک است. البته این حالت برای زمان کوتاهی می‌تواند دوام داشته باشد و بعد از گذشت زمان، به واسطه وجود درزهای اجرایی و انبساط انقباضی در پوشش کانال و همچنین نفوذپذیری بتن، آب از کانال به سمت خاکریز نشت پیدا می‌کند و موجب بالا رفتن فشار آب منفذی در خاکریزهای جانبی و زیر پوشش می‌شود. بنابراین در حالت بحرانی نیروهای اعمال شده شامل وزن پوشش و نیروهای وارده از طرف آب داخل کانال خواهند بود. با توجه به شکل ۷، مشاهده می‌شود در این حالت، لنگرهای خمشی بزرگی به پوشش بتنی وارد می‌شود و در هر سه نمونه‌ی خاک با کاهش شیب، مقدار لنگرهای خمشی وارد بر پوشش بتنی افزایش می‌یابد و در هر شیب با افزایش ابعاد کانال (افزایش ارتفاع کانال و عرض کف) میزان افزایش لنگر شدت بیشتری می‌گیرد. علت افزایش لنگر با کاهش شیب یا ملایم شدن آن تأثیر وزن آب بر سطح بیشتری از پوشش است؛ به عبارت دیگر در شیب‌های ملایم‌تر سطح تصویر پوشش دیواره‌های جانبی بتن در افق بیشتر می‌شود و در این شرایط سطح بیشتری از بتن تحت نیروهای قائم وزن داخل آب قرار

وجود رفتار مشابه در نتایج پژوهشگران دیگر مانند احمدی و همکاران (۲۰۰۹)، رحیمی و بارونکوب (۲۰۰۷) و احمدی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش شده است.

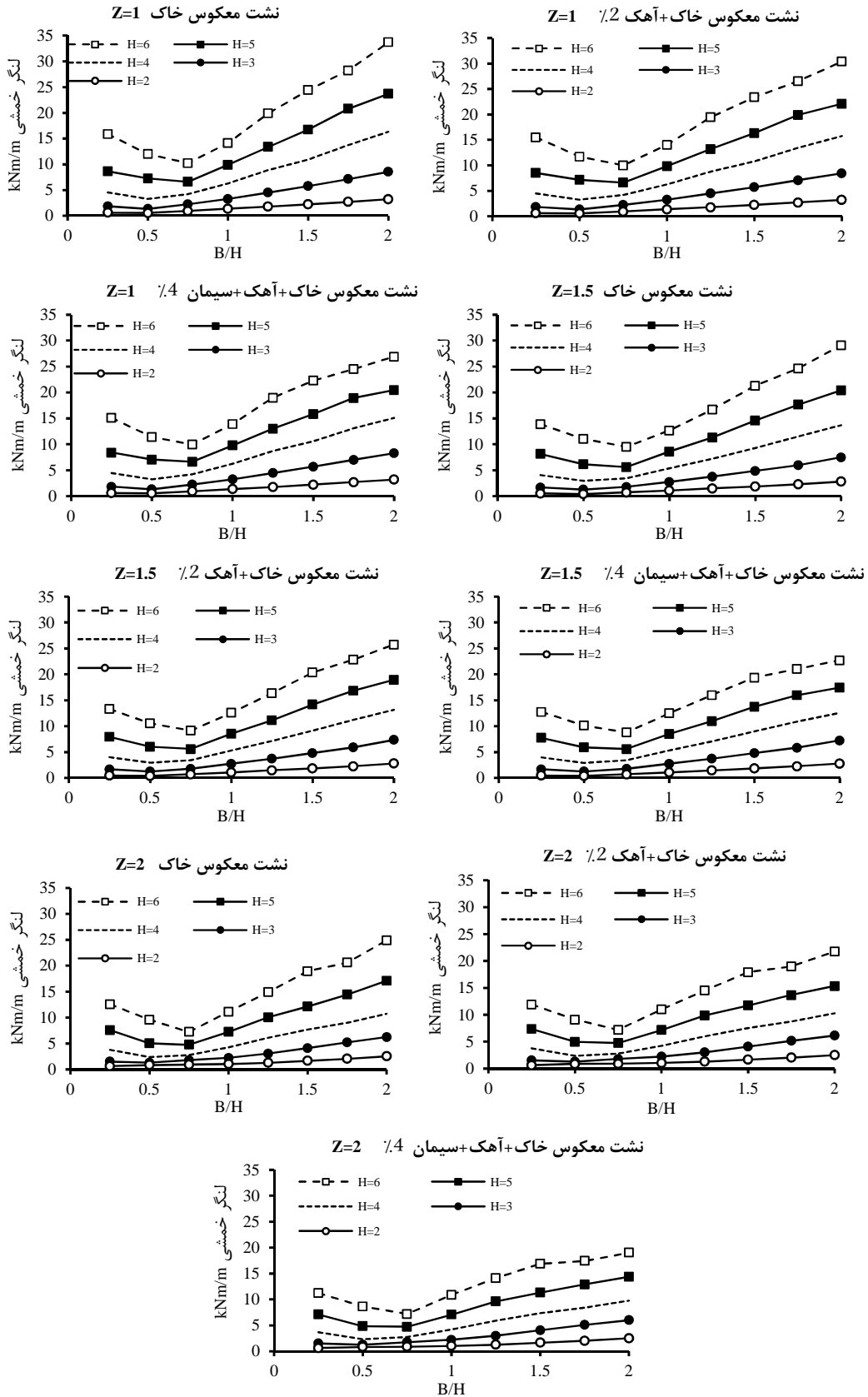
به حداقل مقدار ممکن می‌رسد. در حقیقت این نسبت از عرض کف به عمق کانال، می‌تواند به عنوان بهترین نسبت از نظر سازه‌ای در ساخت کانال‌ها لحاظ شود.



شکل ۶- مقایسه لنگر خمشی بین سه نمونه خاک در حالت انتهای مرحله ساخت



شکل ۷- مقایسه لنگر خمشی بین سه نمونه خاک در حالت کانال پر



شکل ۸- مقایسه لنگر خمشی بین سه نمونه خاک در حالت نشت معکوس

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های این پژوهش و نتایج ارائه شده، نتیجه‌گیری منطقی این مقاله را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

با توجه به محدوده ابعاد کانال‌های مطالعه شده در این تحقیق، با افزودن آهک ۲٪ و مخلوط ۴٪ سیمان و ۴٪ آهک به خاک، مدول الاستیسته خاک افزایش یافته و این باعث کاهش لنگرهای خمشی وارد بر پوشش بتنی کانال‌ها شده است؛ بنابراین با افزودن این مواد به خاک می‌توان به سلامت کارکرد پوشش بتنی کمک زیادی کرد. افزودن آهک ۲٪ و مخلوط ۴٪ سیمان و ۴٪ آهک به خاک (ارتفاع و عرض کف کانال) لنگر خمشی وارد بر پوشش‌های بتنی را کاهش داد به گونه‌ای که در کانال‌های با ابعاد بزرگ تأثیر مواد افزودنی در کاهش لنگرها بیشتر از کانال‌های کوچک بود که این موضوع اهمیت کاربرد این مواد را برای کانال‌های بزرگ نشان می‌دهد. افزودن مخلوط ۴٪ سیمان و ۴٪ آهک بیشتر از افزودن ۲٪ آهک لنگرهای خمشی وارد بر پوشش بتنی را کاهش داده است. از آنجایی که حالت در نظر گرفته شده برای کانال پر برای مدت زیادی نمی‌تواند اتفاق بیفتد، بحرانی‌ترین حالت بیشتر حالت نشت معکوس در ساخت کانال‌ها قابل لحاظ است، با توجه به این موضوع، پوشش بتنی در عمق‌های مختلف تا B/H‌های خاصی (در حالت انتهای مرحله ساخت و نشت معکوس حدود ۰/۷۵) در برابر لنگر مقاومت کرده و مانع افزایش زیادی در لنگر وارده شده است؛ اما با افزایش این ابعاد، مشاهده شد که افزایش لنگر شدت بیشتری به خود می‌گیرد و صدمات وارده بر پوشش جدی‌تر خواهد بود. مقدار لنگرهای وارده بر پوشش بتنی در حالت پر بیشتر از دو حالت انتهای مرحله ساخت و نشت معکوس بوده است (در این نمونه خاک مورد بررسی). در حالت کانال پر با افزایش ابعاد کانال مقدار لنگر خمشی وارد بر پوشش بتنی افزایش می‌یابد و هرچه قدر شیب جانبی کانال (Z) بیشتر شود، مقدار آن بیشتر خواهد بود و در واقع رابطه مستقیم با شیب جانبی دارد.

منابع

۱. احمدی ح.، عبقری ه.، رضوردی نژاد و. و بشارت س. ۱۳۹۱. تأثیر ابعاد کانال بر تغییرات لنگر خمشی

- ۶ (۱۰): ۷۵-۸۳. وارد بر پوشش بتنی. مجله پژوهش آب ایران.
۲. بارتکوب ش.، بینام و. و عساکره ع. ۱۳۸۴. موقعیت مکانی درزهای انبساط و انقباض پوشش بتنی کانال‌ها و نقش آن در علاج‌بخشی تخریب ناشی از خاصیت تورمی خاک. نخستین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. گروه مهندسی آبیاری دانشگاه تهران.
۳. دریائی م. و کاشفی‌پور م. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر ماسه بادی و آهک بر روی خصوصیات مقاومتی خاک‌های رسی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵ (۲): ۲۳۰-۲۳۹.
۴. رحیمی ح. ۱۳۷۹. مسائل احداث کانال‌های آبیاری در خاک‌های نامتعارف (مشکل آفرین). گارگاه فنی-آموزشی ساخت کانال‌های آبیاری محدودیت‌ها و راه حل‌ها. ۳۹: ۱۲۸-۱۶۳.
۵. رحیمی ح. ۱۳۸۳. مسایل کانال‌های آبیاری در ایران. وزارت نیرو. مجموعه مقالات گوه‌ران کویر. ۱-۱۲.
۶. رحیمی ح. و بارتکوب ش. ۱۳۷۵. ترک خوردگی پوشش بتنی کانال‌ها بر اثر پتانسیل پنهان تورم. مجله علوم کشاورزی ایران. ۲۷ (۱۳): ۱-۴.
۷. مهرموسوی ز. و بهمنش ج. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر لیانت‌های هیدرولیکی بر مقاومت فشاری خاک‌های رسی. دومین کنفرانس ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه‌های آبیاری و زهکشی. کرج.
8. Ahmadi H. Rahimi H. and Abdollahi J. 2009. Optimizing the location of contraction-expansion joints in concrete canal lining. Journal of Irrigation and Drainage. 58(1): 116-125.
9. Brown R. H. and Robinson G. 1986. Inadequacy of Property Specification in ASTM C-270. ASTM. 11 p
10. Brown R. H. and Sarker A. 1987. Flexural Strength of Brick Masonry Using.
11. Bond Wrench. Brick Institute of America Research Report. No. 20: 1-24
12. Chen F. H. 1975. Foundations on expansive soils. Elsevier Scientific Publishing Company, New York. 280 p.
13. Chow V. T. 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill, New York. 680 p.

14. Diaomnd S. 1975. Methods of soil stabilization for erosion control. West lafayette. Purdue University. Indiana. 300 p.
15. Guyer J. P. 2011. Introduction to soil stabilization in pavements. Guyer Partners, Continuing Education and Development, Inc.
16. Hammond A. A. 1992. Manufacture and use of lime and pozzolana cements in Africa. Lime and other alternative cements, Neville Hill, Stafford Holmes, and David Mather, eds., Intermediate Technology Publications, London, U.K. 35-46.
17. Justo J. L. Saura J. Jaramillo A. Delgado A. and Gentil P. 1985. Prediction and performance for seasonal swelling—shrinkage of buildings on Expansive clays. In: Proceedings of 11th int conf. on Sm and Fe, San Francisco. 4: 2199-2204
18. Katti R. K. and Katti A. R. 1994. Behavior of Saturated Expansive Soil and Control Methods, Central Board of Irrigation and Power. 1132 p.
19. Little D. N. and Nair S. 2009. Recommended practice for stabilization of subgrade soils and base material. NCHRP, Texas A&M University, Texas, Transportation Research Board of the National Academies. 16 p
20. Murty V. R. and Praveen G. V. 2008. Use of chemically stabilized soil as cushion material below light weight structures founded on expansive soils. Journal of Materials in Civil Engineering. 20(5): 392-400.
21. Rao K. D. 2011. The efficacy of reinforcement technique on the fly ash stabilized expansive soil as a sub grade embankment for highways. International Journal of Engineering Science and Technology. 3(2): 772-782
22. Sahoo J. P and Pardhan P. K. 2010. Effect of Lime Stabilized Soil Cushion on Strength Behavior of Expansive Soil. Geotechnical and Geological Engineering. 28: 889-897.
23. Sharma K. N. Swain K. S. and Sahoo U. C. 2012. Stabilization of a clayey soil with Fly Ash and lime: A micro level investigation. Geotechnical and Geological Engineering. 30(5): 1197-1205.

