

## تأثیر ابعاد کانال بر تغییرات لنگر خمشی وارد بر پوشش بتنی

حجت احمدی<sup>۱\*</sup>، هیراد عبقری<sup>۲</sup>، وحید رضوردی نژاد<sup>۳</sup>، سینا بشارت<sup>۴</sup>

### چکیده

در این تحقیق مقدار لنگرهای خمشی وارد بر پوشش بتنی کانال‌های آبیاری با یک مدل عددی مبتنی بر اجزاء محدود بررسی شد و بر اساس حداقل مقدار لنگر خمشی وارد بر پوشش بتنی، ابعاد سازه‌ای بهینه برای کانال دوزنقه‌ای استخراج شد. نتایج این تحقیق نشان داد که ابعاد سازه‌ای بهینه وابسته به شیب جانبی و عمق کانال است به طوری که برای کانال‌های با عمق بیش از ۴ متر نسبت بهینه عرض کف کانال به عمق بین ۱ الی ۱/۵ است. برای کانال‌هایی با شیب جانبی ۱:۱ این نسبت به ۱/۵ نزدیکتر است و با کاهش شیب جانبی از مقدار آن کاسته می‌شود و برای کانال‌هایی با شیب جانبی ۱:۲ این مقدار به یک نزدیک شود. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش مدول الاستیسته خاک بستر در کاهش مقدار لنگر وارد به پوشش کانال در شرایط مختلف کارکرد کانال نقش اساسی می‌تواند داشته باشد. علاوه بر این مقدار لنگر وارد بر پوشش بتنی کانال‌ها رابطه مستقیم با افزایش شیب جانبی دیواره‌های جانبی آن دارد.

### واژه‌های کلیدی: کانال آبیاری، پوشش بتنی، لنگر خمشی و ابعاد بهینه

ارجاع: احمدی ح. عبقری ه. رضوردی نژاد و. و بشارت س. ۱۳۹۱. تأثیر ابعاد کانال بر تغییرات لنگر خمشی وارد بر پوشش بتنی. مجله پژوهش آب ایران.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ارومیه

۳- استادیار گروه آب، دانشگاه ارومیه

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

\* نویسنده مسئول: [hojjat.a@gmail.com](mailto:hojjat.a@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۰۱

## تأثیر ابعاد کانال بر تغییرات لنگر خمشی وارد بر پوشش بتنی

### مقدمه

شیب جانبی کانال‌های آبیاری از نظر تقسیم‌بندی جزء شیب‌های محدود می‌باشد و معمولاً سطح مقطع کانال‌های آبیاری بصورت متقارن ساخته می‌شوند. این شیب‌ها از بخش بالایی معمولاً به جاده سرویس کانال و در قسمت پایین به کف کانال منتهی می‌شوند و گسترش هر یک از این سطوح افقی می‌تواند بسته به شرایط و ابعاد کانال متفاوت باشد. عرض کف معمولاً بصورت تابعی از عمق کانال بیان می‌شود. در کانال‌های بدون پوشش با مقطع عرضی کم معمولاً سعی می‌شود مقطع کانال شکل نیم دایره داشته باشد با وجود این در کانال‌های بزرگ سطح مقطع دوزنقه‌ای بوده و نسبت عرض کف به عمق کانال بین ۲ تا ۱۰ تغییر می‌کند و همچنین در کانال‌های پوشش‌دار این نسبت خیلی به یک نزدیکتر است (فرامزی، ۱۹۷۲). اندازه سطح مقطع کانال‌های دوزنقه‌ای شکل رابطه مستقیم با مقدار شیب جانبی داشته و برای بهترین مقطع هیدرولیکی که دارای کمترین محیط خیس شده به همراه حداقل سطح مقطع باشد، مقدار آن برابر ۶۰ درجه است (چاو، ۱۹۵۰). برای این حالت معمولاً مقدار خاک‌برداری و خاک‌ریزی برای ساخت کانال حداقل خواهد بود (مقصودی و کوچک‌زاده، ۱۳۸۱). اجرای شیب‌های جانبی وابسته به شرایط ژئوتکنیکی محل است و برای مصالح سخت و سنگی معمولاً این شیب‌ها بصورت قائم است و مقاطع اجرا شده مستطیلی است اما برای مناطقی با خاک بستر سست شیب‌ها ملایم‌تر انتخاب می‌شود (فرنچ، ۱۹۸۶).

مطالعات صورت گرفته در مورد مقادیر نشت آب از کانال‌های دارای پوشش‌های موضعی نشان داده است که مقدار زاویه شیب جانبی تأثیری در مقدار آب نشتی از کف کانال نداشته ولی بیشترین نقش را در مقدار آب نشتی از دیواره‌های جانبی دارد و در نسبت‌های کوچک عرض کف به عمق، مهمترین عامل در نشت آب از بدنه خواهد بود. مقادیر نشت آب از کانال بطور مستقیم وابسته به شیب جانبی بوده و به سبب تأثیر آن در محیط خیس شده و زاویه خط جریان نشت نسبت به سطح

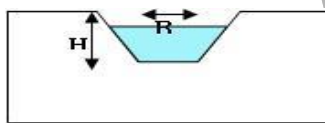
شیب در شیب‌های ملایم‌تر، نشت و تلفات بیشتری رخ می‌دهد. البته برای مقادیر بزرگتر نسبت عرض کف به عمق، تأثیر نسبی آن کمتر می‌شود (سوبرامانیا و همکاران، ۱۹۷۳). در کانال‌های خاکی به سبب اینکه ذرات خاک در روی شیب جانبی تحت زاویه تند قرار دارند نیروی ثقل بر آنها وارد می‌شود و مقاومت به پایداری ذرات در برابر فرسایش کمتر خواهد بود. بنابراین هرچه شیب جانبی تندتر باشد میزان فرسایش بیشتر خواهد بود (شفاعی بجمستان، ۱۳۷۸). در کانال‌هایی با شیب جانبی تند مشکل پوشش دهی نیز وجود دارد. از آنجاییکه مصالح پوششی معمولاً بتنی است و ابتدا حالت خمیری دارد لذا اعمال این پوشش‌ها در شیب‌های تند مشکل‌ساز است و در شیب‌های تندتر و نزدیک به حالت قائم حتماً باید از بتن مسلح استفاده کرد. طبق گزارشات مؤسسات معتبر، شکستگی‌های شیب‌های جانبی و لغزش شیب‌ها می‌تواند برای انسان خطرناک باشد (کمیته مرکزی آب استرالیا، ۱۹۹۸). بررسی شبکه‌های مختلف آبرسانی و آبیاری نشان داده که بیشترین عامل عدم کارکرد صحیح در این گونه سازه‌ها، شکستگی‌های پوشش بتنی است (بته، ۲۰۰۴). در بیشتر موارد دلیل اصلی شکستگی‌ها مشکلات ژئوتکنیکی و خاک‌های نامناسب عنوان شده است (رحیمی و عباسی، ۲۰۰۱؛ الرفاعی، ۱۹۷۶ و رحیمی و باروتکوب، ۲۰۰۲). برای کنترل نیروهای مخرب پوشش بتنی کانال‌های آبیاری وجود یک درز انبساطی-انقباضی در ارتفاع یک سوم عمق کانال از کف بسیار مناسب می‌باشد (باروتکوب و رحیمی، ۲۰۰۲ و احمدی و همکاران، ۲۰۰۹). به طوری که وجود یک درز انبساطی انقباضی در ارتفاع یک سوم عمق از کف کانال لنگرهای خمشی را ۱۰ برابر نسبت به حالت بدون درز کاهش می‌دهد (احمدی و همکاران، ۲۰۰۹). طبق توصیه اداره عمران و آبادانی آمریکا (۱۹۶۷) با افزایش ابعاد بایستی ضخامت پوشش بتنی نیز افزایش یابد. با این حال هنوز تحقیق در خصوص تأثیر ابعاد کانال بر نیورهای وارده و تعیین ابعادی برای به حداقل رساندن این نیروها ارائه نشده است. در این تحقیق با بررسی و تحلیل عددی تأثیر ابعاد مختلف کانال بر مقدار لنگرهای خمشی وارد بر پوشش بتنی که

برابر ۰/۹ انتخاب شد (لیندربورگ، ۲۰۱۱). هرچند که مقطع عرضی کانال دوزنقه‌ای یک شکل متقارن است و می‌توان برای کاهش حجم محاسبات، فقط نصف آنرا در مدل عددی در نظر گرفت و اما برای بررسی بهتر و تعیین الگوی تغییرات شکل واقع بینانه‌تر، سطح مقطع کانال بطور کامل مدل شد. سطح مقطع و ابعاد عمومی کانال مدل شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات بتن بکار رفته در مدل‌سازی پوشش بتنی

کانال (لیندربورگ، ۲۰۱۱)

مشخصه	واحد	کمیت
مقاومت کششی	MPa	۴-۲/۵
مقاومت فشاری	MPa	۳۵-۲۵
نسبت پواسون	-	۰/۲۵-۰/۲
مدول الاستیسته	MPa	۳۰۰۰۰-۲۰۰۰
وزن واحد حجم	kN/m <sup>3</sup>	۲۴-۲۳



شکل ۱- ابعاد هندسی مقطع هندسی مورد بررسی

همان طوری که در این شکل نشان داده شده است، عرض بالادست شیب‌های جانبی کانال برابر با ۴ متر (حداقل عرض برای جاده سرویس)، همچنین حداقل فاصله لایه سخت تا کف کانال (فاکتور عمق) ۴ متر در نظر گرفته شده است (کیم و همکاران، ۱۹۹۸). عمق کانال در مقاطع بررسی شده بین ۰/۵ متر تا ۶ 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 با ۰/۲ عمق کانال به عنوان ارتفاع آزاد در محاسبات منظور شد. همچنین در بررسی حالات 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. در حالت اخیر فرض شد که سطح آب در کانال به کف افتاده و سطح آب در دورترین مرز از هندسه مدل از سطح زمین

می‌تواند موجب تخریب آن شود بررسی شده است و سعی شده است ابعاد مناسبی از کانال آبیاری ارائه شود که حداقل مقدار لنگر خمشی بر پوشش بتنی آن وارد شود.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای انجام محاسبات از بسته نرم‌افزاری Plaxis نسخه ۷/۲ استفاده شد. این نرم افزار بر اساس روش اجزای محدود معادلات حاکم بر محیط خاک را به همراه مصالح مختلف نظیر پوشش‌های صلب بتنی و انعطاف‌پذیر مصالح مصنوعی مدل می‌کند. از مدل‌های متعدد رفتاری موجود در این نرم افزار، مدل رفتاری موهر-کولمب که مدل مناسبی برای بررسی انواع مختلف مصالح است استفاده شد. رفتار پوشش بتنی و همچنین رفتار خاک به صورت یک ماده الاستوپلاستیک در نظر گرفته شد. داده‌های لازم جهت تعریف مشخصات لازم در معادلات تنش-کرنش حاکم بر پدیده مورد مطالعه از اطلاعات گردآوری شده توسط اداره عمران و آبادانی آمریکا و همچنین سیستم طبقه بندی و استاندارد آلمان استخراج گردید (اداره عمران و آبادانی ایالات متحده ۱۹۶۷ و ۱۹۹۸ و پائول و ژان، ۲۰۰۳) از آنجایی که برخی از مشخصات فنی خاک با توجه به انواع مختلف آن و شرایط متفاوت از نظر میزان رطوبت و تراکم نسبی در دامنه بسیار گسترده‌ای قرار می‌گیرد (به طور مثال الاستیسته خاک بین ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ کیلو پاسکال) لذا در این تحقیق در کلیه محاسبات مقادیر اولیه و ثابتی از این پارامترها شامل نسبت پواسون برابر ۰/۲ و مدول الاستیسته برابر ۲۰۰۰۰ کیلو پاسکال لحاظ شد و در نهایت با محاسبات تحلیل حساسیت اثر تغییر این پارامترها بر نتایج، بررسی شد. برای مدل کردن پوشش بتنی از یک لایه پوشش بتنی به ضخامت ۲۰ سانتیمتر استفاده شد و مشخصات بکار رفته جهت تعریف این سازه در جدول ۱ ارائه شده است.

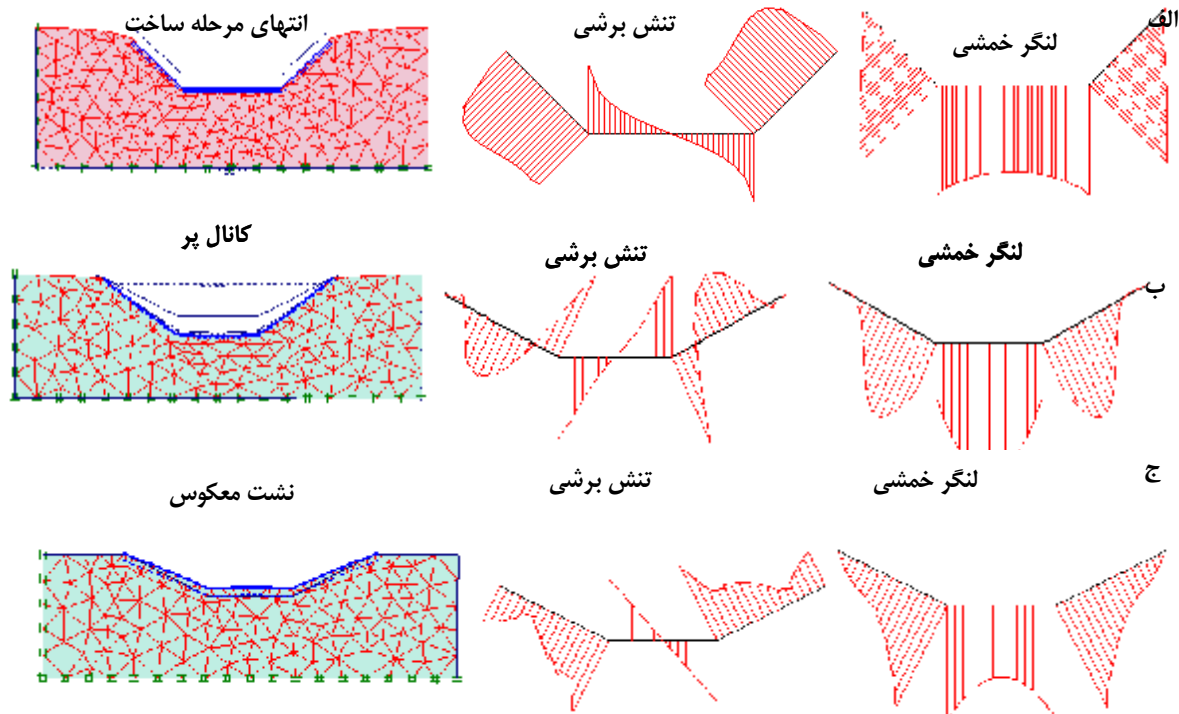
ضریب زاویه در سطح تماس بین پوشش بتنی و خاک به صورت نسبتی از زاویه اصطکاک داخلی خاک تعریف شده بر این اساس به خاطر سطح نسبتاً زبر پوشش بتنی در محل تماس با خاک، این ضریب

آب و نیروی زیر فشار، لنگرهای خمشی و نیروهای برشی به پوشش وارد می‌شود. در صورتی که نیروهای وارده بیشتر از تحمل پوشش باشد، اثرات آن به صورت ترک خوردگی‌های طولی و یا خردشدگی در سطح بتن قابل مشاهده خواهد بود. در این بخش از مطالعه برای بررسی کلی چگونگی توزیع نیروهای وارده بر پوشش‌های بتن هیچ گونه درزی در پوشش‌های کف و یا دیواره‌های جانبی در نظر گرفته نشده و شرایط حاکم بر کانال بر اساس کارکرد آن در ۳ حالت انتهایی مرحله ساخت (پوشش دهی)، حالت کانال پر و حالت نشت معکوس بررسی شد. با توجه به نتایج حاصله از تحلیل نیروهای وارد بر پوشش‌های بتنی کانال‌های آبیاری، فرم نیروهای وارده در کلیه شیب‌های مورد مطالعه مشابه است و فقط در مقدار نیروها و لنگرهای وارده تفاوت وجود دارد. شکل ۲ تصویر تغییر شکل و الگوی لنگرهای خمشی و نیروهای برشی وارد بر کانال با زاویه شیب جانبی ۱:۱/۵ را در سه حالت بررسی شده نشان می‌دهد.

۰/۲ عمق کانال فاصله دارد. این حداکثر ارتفاع آبی است که جریان نشت یافته از کانال در حین کارکرد کانال تحت حداکثر ظرفیت می‌تواند ایجاد شود هرچند محافظه کارانه به نظر می‌رسد (احمدی و همکاران، ۲۰۰۹). برای شبیه‌سازی شرایط واقعی و طبیعی حاکم بر کانال‌های بتنی، ترتیب انجام تحلیل‌های صورت گرفته به ترتیب عبارت است از: ساخت کانال خاکی، اجرای پوشش بتنی، آب‌اندازی و کارکرد با ظرفیت پر و در نهایت نشت معکوس و بدین ترتیب انجام محاسبات و مدل‌سازی به ترتیب فوق صورت گرفت.

### نتایج و بحث

رفتار پوشش‌های بتنی در روی شیب‌های جانبی و کف کانال تقریباً مشابه رفتار کلاسیک تیر بر بستر الاستیک است که در سال ۱۸۶۷ توسط وینکلر تحلیل شده است (باولز، ۱۹۹۶). در این حالت پوشش بتنی بر بستر الاستوپلاستیک (خاک) قرار می‌گیرد و به سبب نیروهای وارده حاصل از وزن پوشش، وزن و نیروی هیدرواستاتیک

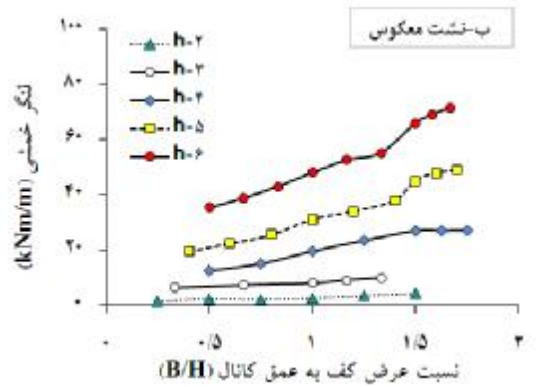


شکل ۲- فرم عمومی تغییر شکل‌ها در کانال دوزنقه‌ای با پوشش بتنی در حالات مختلف کارکرد کانال به همراه لنگر خمشی و تنش‌های برشی وارد بر پوشش بتنی

زیادی لنگرهای وارده به پوشش بتنی را کاهش داد (احمدی و همکاران، ۲۰۰۹)، با این حال ابعاد کانال در میزان لنگر وارده به پوشش بتنی هم در حالت وجود درز و هم در حالت عدم نقش بسزائی دارد. در این بخش از مطالعات برای مطالعه اثرات نسبت عرض کف به عمق کانال در مقدار لنگرهای وارده، بهترین نسبت برای شیب‌های جانبی ۱:۱، ۱:۱/۵ و ۱:۲ به طور جداگانه بررسی شد که نتایج آن در ذیل آورده شده است.

### شیب Z=1

شکل ۳، نتایج حاصل از محاسبات مربوط به اثرات نسبت عرض کف به عمق کانال را در کاهش مقدار لنگرهای خمشی وارد بر پوشش کف نشان می‌دهد.



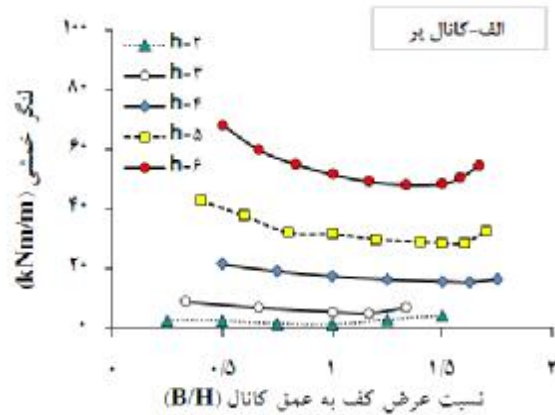
شکل ۳- تغییرات لنگر خمشی وارده بر پوشش بتنی به ازای ابعاد مختلف کانال ذوزنقه‌ای با شیب جانبی ۱:۱

بیشتر می‌شود و رابطه مستقیم بین نسبت  $\frac{B}{H}$  و لنگرهای وارده وجود دارد. با توجه به شکل ۳، همان‌طور که مشاهده می‌شود برای کانال‌هایی با عمق بیش از ۴ متر در نسبت  $\frac{B}{H}$  برابر با یک، افزایش لنگرهای وارده بسیار شدید می‌باشد و افزایش لنگرهای وارده در این نسبت با یک جهش همراه بوده که این رفتار برای کانال‌هایی با عمق کمتر از ۴ متر، در نسبت‌های کمتری از  $\frac{B}{H}$  مشاهده می‌شود البته به دلیل مقادیر بسیار کم لنگر خمشی در کانال‌های کوچک (عمق کمتر از ۴ متر) اهمیت موضوع کمتر است. با مقایسه نمودارهای مربوط به عرض کف به عمق کانال در

احمدی و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی نیروهای وارده بر پوشش بتنی در این شرایط نشان دادند که حالات کارکرد کانال پر و نشت معکوس حالات بحرانی است در حالی که برای یک کانال معمولی در شرایط انتهای مرحله ساخت با فرض رعایت استانداردهای بتن ریزی هیچ مشکلی از نظر شکستگی وجود ندارد.

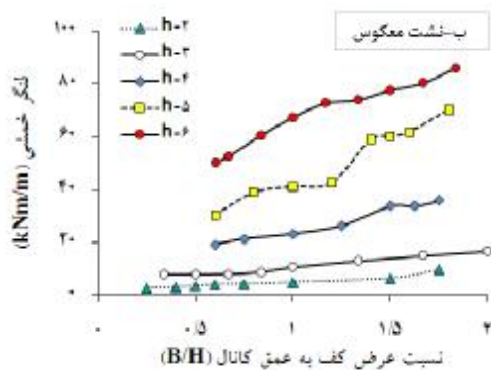
### تعیین بهترین نسبت عرض کف به عمق کانال

برای تعیین بهترین ابعاد سازه‌ای تغییرات لنگرهای خمشی وارد بر پوشش‌های بتنی در نسبت‌های مختلف عرض کف به عمق کانال، شیب‌های مختلف دیواره‌های جانبی کانال‌های آبیاری بررسی شد. هرچند با بکارگیری یک درز انبساط- انقباضی در ارتفاع  $\frac{1}{3}$  عمق کانال از کف می‌توان تا اندازه



همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت کانال پر و در نسبت‌های کوچک عرض کف به عمق، مقدار لنگرهای وارده بر پوشش زیاد است و با افزایش نسبت  $\frac{B}{H}$  از مقدار لنگرها کاسته می‌شود. این کاهش پس از رسیدن به یک مقدار معین و حداقل  $\frac{B}{H}$  متوقف می‌شود و با افزایش  $\frac{B}{H}$  مقدار لنگرها مجدداً افزایش می‌یابد. برای عمق‌های بیشتر از ۴ متر، در نسبت  $\frac{B}{H}$  نزدیک به  $\frac{1}{5}$  لنگرهای وارده در حالت کانال پر به کمترین میزان خود می‌رسد این نسبت برای عمق ۳ متر حدود  $\frac{1}{2}$  و برای کانالی با عمق ۲ متر حدود  $\frac{1}{5}$  است. در حالت نشت معکوس با افزایش نسبت عرض کف به عمق مقدار لنگرهای وارده

نسبت  $\frac{B}{H}$  بهینه افزایش می‌یابد. برای کانال‌هایی با عمق بیش از ۴ متر حداقل مقدار لنگرهای خمشی در نسبت عرض کف به عمق برابر ۱/۵ حاصل می‌شود. برای کانال‌های کم عمق‌تر این نسبت شدیداً کاهش می‌یابد و برای کانالی با عمق ۳ متر مقدار آن در حدود ۰/۷ و برای کانالی با عمق ۲ متر مقدار آن ۰/۵ است. در حالت نشت معکوس مقدار لنگرهای خمشی با افزایش عرض کف یا نسبت عرض کف به عمق، بیشتر می‌شود. شکل (۴-ب)، تغییرات لنگر وارد بر پوشش بتنی کف را نسبت به مقادیر مختلف  $\frac{B}{H}$  در حالت نشت معکوس نشان می‌دهد، برای کانال‌های با عمق بیشتر از ۴ متر در نسبت عرض کف به عمق ۱/۵ افزایش سریعی در مقدار لنگرهای وارده مشاهده می‌شود. برای عمق‌های کمتر از ۴ متر افزایش لنگرها با افزایش نسبت  $\frac{B}{H}$  تقریباً خطی با شیب تقریباً ثابتی است. بنابراین این حالت اخیر نیز مشابه حالت قبل ( $Z=1$ ) بهترین نسبت عرض کف به عمق با ملاحظه هر دو حالت پر و نشت معکوس کانال و نقاط پله‌ای افزایش لنگرها در حالت نشت معکوس، اندکی کمتر از نقطه کمینه منحنی‌های لنگر خمشی- $\frac{B}{H}$  حالت پر در نظر گرفته شود.



شکل ۴ - تغییرات لنگر خمشی وارده بر پوشش بتنی به ازای ابعاد مختلف کانال دوزنقه‌ای با شیب ۱:۱/۵

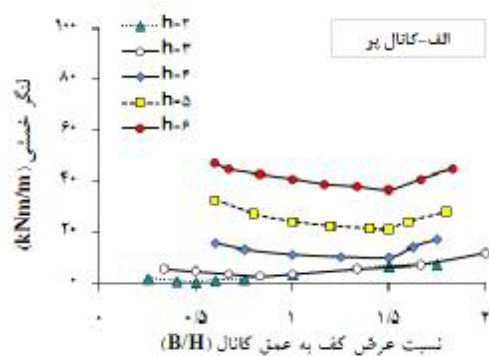
کمینه است و این نسبت‌ها به عنوان نسبت‌های کمینه عرض کف به عمق کانال در کانال‌هایی با شیب جانبی ۱:۲ می‌باشند.

با توجه به این شکل نسبت بهینه  $\frac{B}{H}$  در کانال‌هایی با عمق‌های ۵ و ۶ متر در حدود ۱/۳ بوده که برای کانال‌هایی با عمق کمتر این نسبت کاهش پیدا می‌کند و برای کانال‌هایی با عمق ۴ متر این نسبت تقریباً ۱/۱۵،

حالت کانال پر و نشت معکوس ملاحظه می‌شود در نسبت‌هایی از  $\frac{B}{H}$  که کمترین لنگر را در حالت پر به پوشش وارد می‌کنند تقریباً همان نسبت‌هایی هستند که در حالت نشت معکوس باعث افزایش پله‌ای در مقدار لنگر خمشی وارد بر پوشش می‌شوند. بنابراین برای کاهش مقدار لنگرهای وارده در حالت پر، توصیه می‌شود که نسبت عرض کف کانال به عمق آن حدود ۱/۵ انتخاب شود. البته با مقایسه نیروهای وارده در هر دو حالت کارکرد پر و نشت معکوس، نسبت  $\frac{B}{H}$  بهینه حدود ۱/۳ منطقی خواهد بود یعنی با کاهش جزئی نسبت  $\frac{B}{H}$  بهینه در حالت پر (۱/۵)، میزان لنگرها اندکی افزایش می‌یابد ولی در مقابل لنگرهای وارده در حالت نشت معکوس رami توان به مقدار بسیار بیشتری کاهش داد.

#### شیب $Z=1.5$

شکل ۴، روند تغییرات لنگرهای وارد بر پوشش بتنی را نسبت به مقادیر مختلف نسبت عرض کف به عمق کانال در کانال‌هایی با شیب دیواره ۱:۱/۵ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود مشابه کانالی با شیب  $Z=1$ ، در این حالت نیز در کانال پر با افزایش عمق و ابعاد کانال

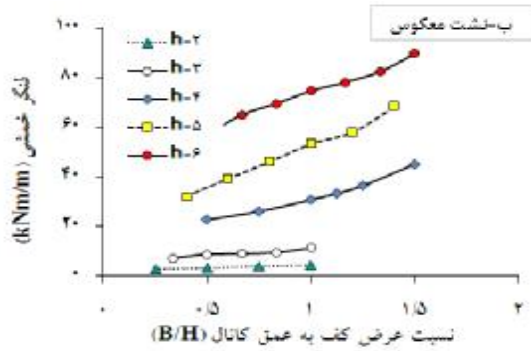


#### شیب $Z=2$

شکل ۵، تغییرات مقدار لنگر وارده بر پوشش بتنی را در مقابل نسبت‌های مختلف عرض کف به عمق کانال  $\frac{B}{H}$  برای اعماق مختلف از کانال نشان می‌دهد. همان طور که از شکل (۵-الف) مشاهده می‌شود در حالت کانال پر، در مقادیر خاصی از  $\frac{B}{H}$ ، مقدار لنگرهای وارده بر پوشش

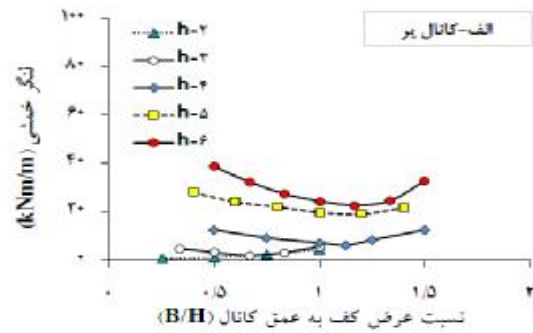


با افزایش نسبت  $\frac{B}{H}$  مقدار لنگر نیز افزایش می‌یابد و در نسبت‌های  $\frac{B}{H}$  بهینه مربوط به حالت کانال پر افزایش مقدار لنگرها بیشتر است (شکل ۵-ب).



شکل ۵- تغییرات لنگر خمشی وارده بر پوشش بتنی به ازای ابعاد مختلف کانال دوزنقه‌ای با شیب ۱:۲

برای کانالی به عمق ۳ متر، ۰/۷ و برای کانالی به عمق ۲ متر مقدار آن کمتر از ۰/۵ است. با این حال در حالت نشت معکوس، در همین نسبت‌های  $\frac{B}{H}$  مقدار لنگرهای وارده بسیار زیاد می‌باشد و در این حالت از کارکرد کانال

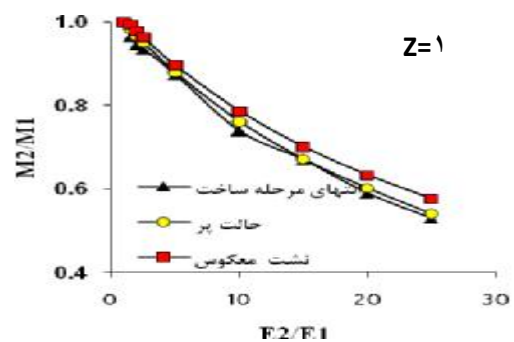
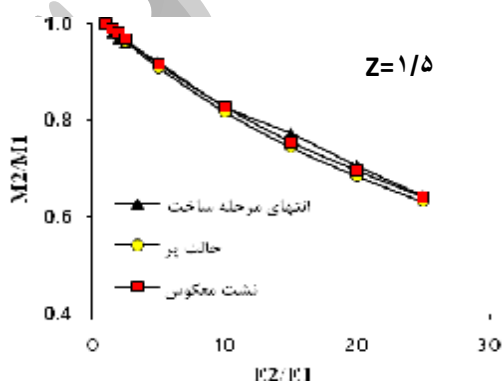


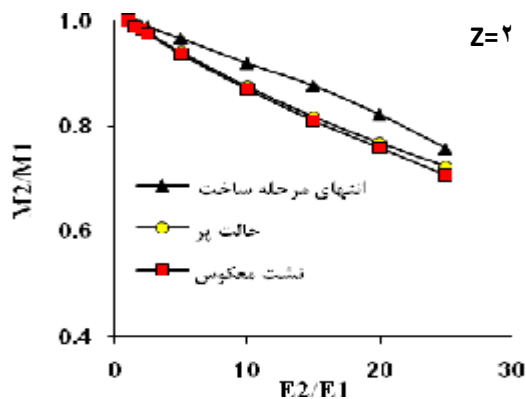
برای تمام شیب‌های جانبی مورد مطالعه، بیشترین تأثیر این پارامتر برای حالت پر کانال و کمترین تأثیر برای حالت نشت معکوس است و در این حالت نیروهای زیر فشار حاصل از نیروی آب مهمترین عامل در مقدار لنگرهای خمشی می‌باشند. شکل ۶، نتایج حاصله را به صورت تغییرات نسبت  $\frac{E_2}{E_1}$  در مقابل  $\frac{M_2}{M_1}$  برای سه شیب ۱:۱، ۱:۱/۵ و ۱:۲ نشان می‌دهد.  $M_1$  مقدار لنگر برای خاکی با مدول الاستیسیته  $E_1$  است. محاسبات برای کانالی به عمق ۶ متر و با عرض کف ۹ متر انجام شده است. برای کانال‌های با اعماق کمتر، تأثیر مدول الاستیسیته خاک کمتر است. در این محاسبات ضریب پواسون خاک ثابت در نظر گرفته شده است.

#### تأثیر شرایط ژئوتکنیکی

##### اثر مدول الاستیسیته خاک بستر (E)

با توجه به منابع معتبر مقدار این ضریب از حداقل ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر مربع تغییر می‌کند. با توجه به دامنه وسیع تغییرات این مدول انتظار می‌رود که مقدار آن در مقدار لنگرهای وارد بر پوشش نقش زیادی داشته باشد. به منظور مقایسه اثرات ضریب الاستیسیته بر مقدار لنگرهای وارده و مقایسه آنها در شیب‌های جانبی مختلف، محاسبات برای کانال با شیب‌های مختلف ولی با ابعاد یکسان (عمق و عرض کف یکسان) صورت گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهد که تغییر مدول الاستیسیته از مقدار حداقل تا حداکثر می‌تواند تا ۴۵ درصد در مقدار لنگرهای وارده تفاوت ایجاد کند.





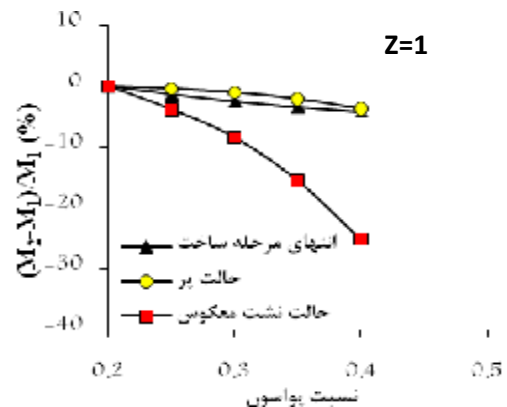
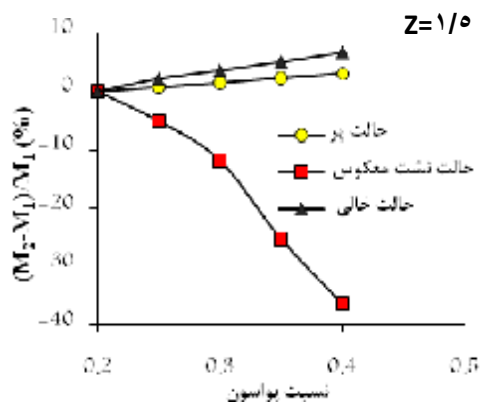
شکل ۶- تغییرات لنگر وارده بر دیواره جانبی کانال‌های آبیاری در مقادیر مختلف مدول الاستیسیته خاک در شیب‌های جانبی مختلف

شیب‌های کمتر بیشترین تأثیر را دارد و لنگرهای وارده در حالت نشت معکوس بیشترین تأثیر را می‌پذیرند. در شرایط نشت معکوس به ازای تغییرات این ضریب از ۰/۲ تا ۰/۴ در کانال‌هایی به عمق ۶ متر و با نسبت  $\frac{B}{H}$  برابر ۱/۵، مقدار لنگرهای وارده حداکثر ۳۶٪ کاهش پیدا می‌کند. در دیگر حالات کارکرد کانال، حداکثر تأثیر آن حدود ۷ درصد است و مربوط به حالت انتهایی مرحله ساخت است. در حالت کانال پر حداکثر تأثیر در حدود ۴٪ است. البته این مقادیر مربوط بزرگترین ابعاد کانال و به بحرانی‌ترین شیب جانبی مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشد. بدیهی است برای ابعاد کوچکتر مقدار تأثیر آن کمتر خواهد بود (شکل ۷).

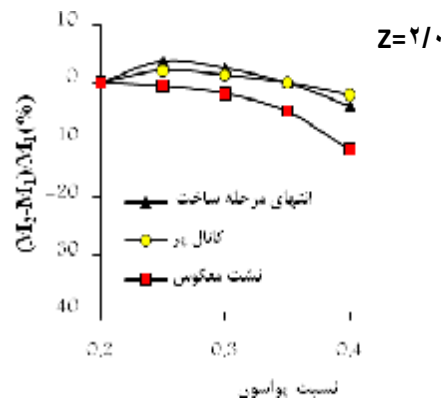
بنابراین با مقایسه دو حالت پر و نشت معکوس، انتخاب بهترین نسبت عرض کف به عمق کانال از نظر سازه‌ای می‌تواند در نسبت‌های کمتری از بهینه مقادیر  $\frac{B}{H}$  حالت پر انتخاب شود تا مقدار لنگرهای وارده بر پوشش در دو حالت مختلف پر و نشت معکوس تقریباً برابر باشند. البته در صورت بکارگیری یک سیستم زهکشی کارآمد در پشت پوشش‌های بتنی می‌توان نیروهای زیر فشار ایجاد شده در حالت نشت معکوس را به مقدار زیادی کاهش داد و ابعاد کانال را بر اساس مقادیر بهینه  $\frac{B}{H}$  اجرا کرد.

#### اثر نسبت پواسون خاک بستر

مقدار ضریب پواسون مواد جامد نسبت به مدول الاستیسیته در دامنه محدودتری قرار دارد و برای خاک‌های مختلف تغییرات آن عموماً در حدود ۰/۲ تا ۰/۴ می‌باشد. محاسبات مربوط به اثر ضریب پواسون در شیب‌های مختلف نشان می‌دهد که این ضریب در







شکل ۷- تغییرات لنگر وارده بر دیواره جانبی کانال‌های آبیاری در مقادیر مختلف نسبت پواسون

افزایش آن مقدار لنگر خمشی وارد بر پوشش بتنی کمتر می‌شود اما در دو حالت دیگر کارکرد کانال شامل انتهای مرحله ساخت و حالت پر این تأثیر این پارامتر وابسته به شیب جانبی کانال است و در کانال با شیب جانبی ۱:۱ با افزایش این نسبت مقدار لنگر خمشی افزایش می‌یابد که حداکثر مقدار آن حدود ۱۰٪ حالتی خواهد بود نسبت پواسون برابر با ۰.۲ باشد. در حالتی که شیب جانبی برابر ۱:۱/۵ باشد در هر سه حالت کارکرد کانال افزایش نسبت پواسون خاک با کاهش مقدار لنگر وارده بود.

#### منابع

- ۱- شفاعی بجستان م. ۱۳۷۸. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- رحیمی. ح. و عباسی. ن. ۱۳۸۰. مشکلات پوشش کانال‌های آبیاری در خاکهای ماسه‌ای، مطالعه موردی شبکه ساوه. مجموعه مقالات کنفرانس منابع آب و خاک استان آذربایجان غربی دانشگاه ارومیه.
- ۳- مقصودی ن. کوچک زاده ص. ۱۳۸۱. هیدرولیک کانالها. جلد اول: جریانهای ماندگار. دانشگاه تهران
- 4- 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.
- 5- Alrefaei N. 1976. Problem of irrigation networks on gypsum soils in Euphrates catchments-Syria. Iranian Irrigation and Drainage Committee, No. 16. Tehran, Iran
- 6- Bowles J. 1996. Foundation analysis and design, Fifth edition, McGraw-Hill.

#### نتیجه‌گیری

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

- مقدار لنگرهای وارد بر پوشش بتنی در حالت نشت معکوس همیشه بیشتر از دو حالت انتهای مرحله ساخت و کانال پر است. در حالت نشت معکوس با افزایش ابعاد کانال مقدار لنگر خمشی وارد بر پوشش بتنی افزایش می‌یابد و هرچه قدر شیب جانبی کانال کمتر باشد مقدار آن بیشتر خواهد بود و در واقع رابطه عکس با شیب جانبی کانال دارد.

- با افزایش عمق کانال، نسبت بهنه  $\frac{B}{H}$  نیز بیشتر می‌شود این نسبت با کاهش شیب جانبی کانال رابطه مستقیم دارد و اما تغییرات آن جزئی است. در کانال‌هایی با عمق کمتر از ۴ متر مقدار آن بین ۰/۵ الی ۱ بوده ولی در کانال‌های بزرگتر مقدار آن بین ۱ الی ۱/۵ می‌باشد.

- افزایش مدول الاستیسته خاک از مقدار  $2000 \text{ kN/m}^2$  باعث کاهش لنگرهای خمشی وارد بر پوشش بتنی کانال‌های است. بنابراین افزایش تراکم خاک می‌تواند به سلامت کارکرد پوشش بتنی کمک زیادی کند. هر چقدر شیب جانبی کانال بیشتر باشد این موضوع اهمیت بیشتری دارد و افزایش تراکم نسبی مصالح بستر کانال به کاهش بیشتر لنگر خمشی منجر خواهد شد.

- افزایش نسبت پواسون مصالح بستر در حالت نشت معکوس تقریباً نتایج مشابه با افزایش مدول الاستیسته خاک دارد و مستقل از شیب جانبی کانال است. یعنی با

- Equilibrium for Slope Stability. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng. 24 (1):1-11
- 14- Paul V. S. and Jan B. 2003. Geotechnical Eng. Handbook. Ernest and Sons Pub. Vol.1
- 15- Subramaniya K. Madhav R. M. and Govinda C. M. 1973. Studies on Seepage from Canals with Partial Lining. Journal of Hydraulic Division 99(12):2333-2351.
- 16- Rahimi H. and Barootkoob Sh. 2002. Concrete Canal lining cracking in low to medium plastic soils. Irrigation and Drainage. 51(2):141-153.
- 17- United States Bureau of Reclamation USBR. 1967. Design of Standard No.3: Canals and Related Structures. Colorado, USA.
- 18- United States Bureau of Reclamation USBR. 1998. Earth Manual. Third Edition Part 1. Colorado, USA
- 7- Central Water Commission. 1998. Technology Brief: Soil Stabilization for Irrigation Canal Lining. CWC Publication.
- 8- Bate J. 2004. Project 184: El Dorado Canal Damage Total \$3 Million. [Http://www.mtdemocrat.com/news/project184damage.shtml](http://www.mtdemocrat.com/news/project184damage.shtml).
- 9- Chow V. T. 1950. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill, New York.
- 10- French, H.R. 1987. Open-Channel Hydraulic. McGraw Hill. 2<sup>nd</sup> Printing.
- 11- Framji K. K. 1972. Design Practices of Irrigation Canals in the World. ICID. Publication
- 12- Linderburg, M.R. 2011. Civil Engineering Reference Manual for the PE Exam” Professional Publication Inc. (PPI).
- 13- Kim J.M. Salgado, R., Sloan, S.W. and Yu, S.H. 1998. Limit Analysis versus Limit