

انتخاب شیبه‌های پایدار دیواره‌های جانبی کانالهای آبیاری

حجت احمدی^{۱*} - وحیدرضا وردی نژاد^۲ - محمد همتی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۱

چکیده

هدف این تحقیق تعیین شیب پایدار دیواره‌های جانبی کانالهای آبیاری ساخته شده در بسترهای خاکی بوده است. بدین منظور از روش آنالیز پایداری اجزاء محدود استفاده شده است. از نظر شرایط ژئوتکنیکی انواع خاکها بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید و با توجه به مشخصات فنی شامل چسبندگی، زاویه اصطکاک درونی، وزن واحد حجم و سایر خصوصیات مهندسی خاک توصیه شده در منابع علمی معتبر، مورد تجزیه تحلیل قرار گرفتند. از نظر کارکرد کانال، سه حالت کانال پر، کانال خالی (انتهای مرحله ساخت) و بلافاصله پس از قطع آب در تحلیلها ملحوظ شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که لغزشهای احتمالی از نوع کم عمق یا سطح لغزش عبوری از پاشنه شیب می‌باشد و بیشترین تغییر شکلها در بخشهای پایینی شیب در نزدیکی پنجه اتفاق می‌افتد. همچنین پایداری شیب جانبی کانال در درجه اول تابع جنس خاک به لحاظ چسبندگی، در درجه دوم تابع شرایط کارکرد کانال و در درجه بعدی تابع عمق کانال می‌باشد. در این مقاله بر اساس موارد مذکور، شیب جانبی پایدار کانالهای آبیاری تا عمق هشت متر و با ضریب اطمینان پایداری مجاز تعیین گردید. برای خاکهای غیر چسبنده مقدار شیب مجاز بر اساس بحرانی ترین حالت ۱:۰/۶ و در خاکهای چسبنده ۱:۳ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: شیب پایدار، پوشش کانال، افتادگی سریع آب، لغزش

مقدمه

(۹). لاورنس و میگوئل با استفاده از اعداد بی‌بعد، روابطی را بین سطح مقطع کانالها در اشکال مختلف با پارامترهای طراحی مانند محیط خیس شده، عمق آب، عرض سطح آب جهت طراحی کانال ارائه کرده‌اند بطوریکه برای مقاطع مثلثی و دوزنقه‌ای شکل، شیب دیواره‌های جانبی بعنوان یک پارامتر معلوم وابسته به شرایط ژئوتکنیکی ارائه شده است. با این حال آنان از جدولی که چاو (۹) با توجه به خصوصیات کیفی خاک بستر ارائه نموده، استفاده کرده‌اند (۱۵). دیویس و سورنسن برای شیبه‌های پایدار کانالهای ساخته شده از خاکهای مختلف جدولی را تنظیم کرده‌اند که تنها در مراحل اولیه طراحی از آنها استفاده می‌شود و در طول طراحی در آنها تغییراتی داده می‌شود. فرنج برای کانالهای آبیاری فاقد پوشش، شیب جانبی مناسب را ۱:۱/۵ ذکر کرده و با این حال به استفاده از شیبه‌های تندتر از نسبت ۱:۱ نیز اشاره نموده است (۱۳). کمیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی با توجه به جنس خاک، شیب جانبی مجاز برای کانالهای خاکی را از حالت تقریباً عمودی تا شیب ۱:۳ به ترتیب برای بستر سنگی و خاکی، ماسه‌ای سست یا رسی متخلخل توصیه کرده است (۱۴). شیب جانبی کانال علاوه بر سطح مقطع و دبی عبوری تاثیرات مختلفی بر مقدار نشست و فرسایش دیواره‌های جانبی دارد. سوپرامانیا و همکاران (۲۰) و پارب هاتا و همکاران (۱۹) اثرات شیب را بر میزان نشست آب از بدنه کانال مورد بررسی قرار داده‌اند بطوریکه در زوایای تندتر شیب جانبی

خاک به عنوان عمده‌ترین مصالح بکار رفته در شبکه‌های آبیاری به حساب آمده و کانالهای آبیاری در هر دو حالت پوشش شده و پوشش نشده عموماً در بسترهای خاکی ساخته می‌شوند. بدین ترتیب کم کردن حجم عملیات خاکی در اجرای کانالها می‌تواند نقش اساسی در به حداقل رساندن هزینه‌ها داشته باشد. از دیدگاه مهندسی، کانالی که بتواند با حداقل سطح مقطع و حداقل محیط خیس شده دبی مورد نظر را از خود عبور دهد بعنوان بهترین مقطع هیدرولیکی شناخته می‌شود و در صورت اجرای آن می‌توان کمترین مقدار خاک‌برداری یا خاکریزی را داشت. بهترین حالت برای مقاطع دوزنقه‌ای در شرایطی است که مقطع نصف یک شش ضلعی منتظم باشد. در این حالت زاویه خارجی شیبه‌های دیواره‌های جانبی نسبت به افق ۶۰ درجه و یا با شیب ۱:۰/۶ (۱ در جهت قائم و ۰/۶ در جهت افقی) می‌باشد. در کانالهای بدون پوشش با مقطع عرضی کوچک، معمولاً سعی می‌شود تا مقطع به شکل نیم دایره نزدیک شود؛ معهذ این مقطع در کانالهای بزرگ دوزنقه‌ای بوده و نسبت عرض کف به عمق بین ۲ تا ۱۰ تغییر می‌کند، اما در کانالهای پوشش دار این نسبت خیلی به ۱ نزدیکتر است

۱، ۲ و ۳- استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(Email: hojjat.a@gmail.com) * - نویسنده مسئول:

$$F_f = \frac{C + \sigma_n \tan(\phi)}{C_r + \sigma_n \tan(\phi_r)} \quad (2)$$

که در آن σ_n مقدار تنش نرمال، C و ϕ پارامترهای مقاومت برشی در تنش نرمال واقعی و پارامترهای C_r و ϕ_r پارامترهای مقاومت برشی هستند که تا حد تعادل کاهش داده شده‌اند بطوریکه توده خاک در آستانه گسیختگی قرار بگیرد. یعنی با کاهش جزئی این پارامترها، خاک به حالت گسیختگی خواهد رسید. در این روش مقدار C و تانژانت ϕ به یک میزان کاهش می‌یابند بطوریکه نسبت زیر برقرار باشد:

$$\frac{C}{C_r} = \frac{\tan(\phi)}{\tan(\phi_r)} = f \quad (3)$$

مقدار کاهش پارامترهای مقاومت برشی توسط مقدار f کنترل می‌گردد. یعنی مقدار f بصورت جزئی از یک مقدار مینیمم افزایش داده می‌شود و این افزایش مقدار C_r و $\tan(\phi_r)$ را مشخص می‌کند و معمولاً حداقل مقدار $0/1$ در نظر گرفته می‌شود و افزایش از این مقدار ممکن است بصورت گامهای مساوی و یا نامساوی صورت گیرد. گسیختگی زمانی رخ می‌دهد که مقدار کرنشهای ایجاد شده به خاطر تغییر در پارامترهای مقاومت برشی به اندازه‌ای باشد که با افزایش تقریباً 10^{-4} برابر در مقدار حداکثر مجاز گامهای افزایش تنش، حل همگرا نشود. همانطوریکه مشاهده می‌شود. در صورتی که هندسه مسئله با مصالحی تعریف گردند که با پارامترهای C و ϕ پایدار نباشد مقدار ضریب اطمینان قابل محاسبه نخواهد بود یعنی نمی‌توان ضریب اطمینان‌های کمتر از ۱ را در این روش محاسبه کرد.

شبکه‌بندی مورد استفاده در این تحقیق، شبکه نامنظم مثلثی بوده که بهترین نوع المان بندی در هندسه‌های نامنظم می‌باشد. درجه آزادی گره‌های قرار گرفته در مرزهای راست و چپ یک و گره‌های قرار گرفته در بخش مرز پایینی فاقد درجه آزادی در نظر گرفته شده‌اند. همچنین در این مطالعه مقطع کانال به صورت متقارن در نظر گرفته شد و به همین دلیل در مطالعه پایداری دیواره‌های جانبی نصف مقطع با گسترش مرزهای بالایی و پای شیب بر اساس عرض کف و عرض جاده سرویس کانال انتخاب گردید. عرض کف نیز به صورت تابعی از عمق کانال معادل دو برابر آن و عرض جاده سرویس برابر ۴ متر انتخاب شد. با توجه به توصیه‌های یو، بمنظور اعمال لایه‌ای معادل با ضخامت بینهایت، فاکتور عمق برابر با ۴ در نظر گرفته شد (۱۶). مقدار زاویه اتساع برای خاکهای ماسه ای و رسهای بسیار پیش تحکیم یافته بر اساس رابطه ارائه شده توسط بولتن (۷ و ۸) $(\Psi = \phi - 35)$ ، که در آن ϕ زاویه اصطکاک داخلی و Ψ زاویه اتساع خاک می‌باشد، در محاسبات لحاظ و برای خاکهای ماسه سست و رسهای عادی مقدار آن صفر منظور گردید. در کلیه تحلیلها شرایط کارکرد کانال در سه حالت مختلف به ترتیب انتهایی مرحله ساخت، کانال پر و حالت نشست معکوس در نظر گرفته شد. در حالت پر ۲۰ درصد از عمق کل کانال بعنوان ارتفاع آزاد و برای شبیه‌سازی

مقدار نشست کمتر از حالتی است که دیواره‌های جانبی تحت شیب ملایم ساخته می‌شود. در حالت نشست معکوس، با افزایش شیب مقدار نشست به داخل کانال افزایش یافته و ناپایداری دیواره‌های جانبی بیشتر می‌گردد. شیب پایدار مناسب نه تنها برای کانالهای خاکی، بلکه برای کانالهای با پوشش بتنی هم یک پارامتر بسیار مهم می‌باشد، بطوریکه یک مطالعه موردی در مورد خرابیهای یک کانال انتقال آب در الدورادوی امریکا به طول ۲۲ مایل در طول ۶۷ سال نشان داد که بیشترین خسارات وارده به کانال به سبب عدم انتخاب صحیح شیب جانبی و لغزشهای صورت گرفته در آن بوده و هزینه‌های وارده بر اثر تخریب این کانال در حدود ۳ میلیون دلار برآورد شده‌است (۶ و ۱۱). بارتکوب و رحیمی (۴)، احمدی و همکاران (۵) و حاج علیلو و همکاران (۳) مقدار شیب جانبی را عامل اساسی در مقدار نیروهای مخرب وارد بر آنها و در نتیجه در دوام پوششهای بتنی عنوان کرده‌اند. فرامژی (۱۲) با جمع آوری روشهای طراحی کانالهای آبیاری در سرتاسر جهان نشان داد که شیب جانبی منتخب بدون انجام آنالیزهای پایداری بر اساس تجربیات ساخت کانال در بسترهای مشابه انتخاب می‌شود (۱۲). در حالت کلی تحلیل پایداری شیروانیها را می‌توان به دو روش تحلیلی و عددی انجام داد (۱۰). از میان روشهای تحلیلی روش بیشاپ ساده شده در بین مهندسان و طراحان شیب بیشترین کاربرد را داشته و با اینکه نسبت به سایر روشهای مشابه، از فرضیات و ساده‌سازیهایی بیشتری استفاده شده، ولی حداکثر ۵ درصد خطا با دقیقترین روشهای مشابه دارد (۱۶). در این تحقیق با توجه به اهمیت و نقش شیب پایدار در طراحی مناسب کانالهای آبیاری و انتقال آب و دوام این سازه، پایداری شیبهای جانبی کانالهای آبیاری تحت شرایط کارکرد مناسب مورد بررسی قرار گرفته است تا با توجه به شرایط کارکرد و خصوصیات ژئوتکنیکی مصالح بستری شیب مناسب و پایدار جهت انجام تحلیل‌های طراحی و اجرایی استخراج گردد.

مواد و روش ها

در این مطالعه به منظور تعیین ضریب اطمینان پایداری و همچنین مطالعه نحوه گسیختگی و تغییر شکلهای بوجود آمده در حین گسیختگی و بعد از آن به کمک مدل کامپیوتری پلاکزیس ورژن ۷/۲ که از روش اجزاء محدود برای تحلیل رفتار خاک بهره می‌برد استفاده شده است. در این مدل دو بعدی، ضریب اطمینان پایداری از روش کاهش اصطکاک و چسبندگی محاسبه می‌گردد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F = \frac{\sum (c + \sigma_n \tan \phi)}{\sum (c_r + \sigma_n \tan \phi_r)} \quad (1)$$

با توجه به این تعریف و معیار موهر کولمب ضریب اطمینان بصورت زیر بیان می‌شود:

نمی‌کند. جدول ۱، پارامترهای بکار گرفته شده در محاسبات را نشان می‌دهد. از آنجائیکه هر گروه خاک دارای دامنه تغییرات پارامترهای مقاومت برشی می‌باشد، لذا محاسبات برای مقادیر حداقل و حداکثر این پارامترها، بصورت جداگانه صورت گرفته است. با استفاده از اطلاعات مندرج در جدول مذکور شیب مجاز دیواره‌های جانبی کانالهای آبیاری در ۱۵ نوع خاک و برای عمق کانال از ۰/۵ تا ۸ متر، با فاصله تغییرات ۰/۵ متر محاسبه گردید. بر اساس توصیه‌های گروه مهندسی ارتش آمریکا ضریب اطمینان برابر و یا بیشتر از ۱/۵ و ۱ به ترتیب برای حالات بدون زلزله و با زلزله معیار انتخاب شیب پایدار بوده است (۲۲).

نتایج و بحث

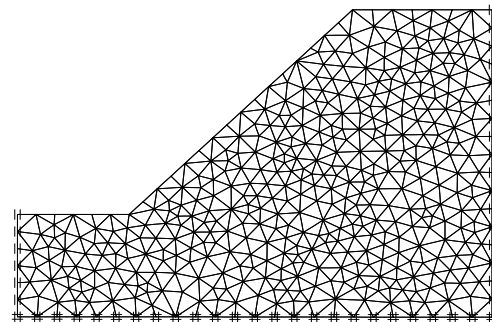
سطوح لغزش و تغییر شکلها

شکل ۳ (الف تا ج) مقدار تغییر مکانها را در سطح توده لغزش دیواره‌های جانبی کانالها در سه حالت از کارکرد کانال نشان می‌دهد. همانطوریکه در این اشکال دیده می‌شود، نوع سطوح لغزش کم عمق و سطح لغزش تقریباً از پاشنه شیب می‌گذرد و برای هر سه حالت بیشترین تغییر شکلها در نقاط نزدیک به پنجه شیب رخ می‌دهد. در حالت انتهایی مرحله ساخت به علت عدم وجود آب در کانال، توزیع فشار آب منفذی در خاک تقریباً یکسان و در حد صفر می‌باشد. بعد از آبیگری، جریان آب نشستی از کانال به سمت خاکریزها موجب بالا رفتن فشار آب منفذی و کاهش تنش موثر در خاک می‌شود. در اینجا به منظور بالا بردن ضریب اطمینان، سطح فریاتیکی آب نشستی به کانال به صورت افقی و هم سطح با سطح آزاد آب در کانال فرض شده است. هرچند که وقوع چنین حالتی در طبیعت بدور از واقعیت است اما فرض چنین حالتی در جهت افزایش ضریب اطمینان قابل توجیه می‌باشد. در حالت نشست معکوس که به سبب پایین افتادن سریع سطح آب کانال اتفاق می‌افتد، بیشترین نیروی نشست و کمترین فشار سربرار تولید کننده مقاومت در محل برخورد خط فریاتیکی آب نشستی با یدنه شیب می‌باشد. بنابراین در این بخش از بدنه شیب مقدار تنشهای موثر نسبت به نقاط دیگر حداقل می‌باشد.

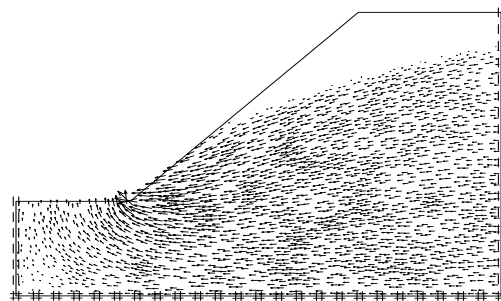
تغییرات ضریب اطمینان پایداری

به منظور مشاهده تغییرات ضریب اطمینان پایداری نسبت به عمق کانال، محاسبات ضریب اطمینان برای هر یک از شیبه‌ها، برای عمق کانال از ۰/۵ تا ۸ متر و برای سه حالت مختلف کارکرد انجام گردید. در نهایت با استفاده از داده‌های حاصله نمودارهای تغییرات عمق کانال و ضریب اطمینان پایداری رسم گردید که در تمام موارد ضریب همبستگی (R^2) بیشتر از ۹۸ درصد می‌باشد. منحنی تغییرات حاصله با توجه به چسبندگی بودن و یا غیر چسبندگی بودن خاک به دو دسته خطی و نمایی تقسیم گردیدند.

حالت نشست معکوس با فرض بدترین شرایط ممکن، هد آب زیرزمینی در مرز هندسه مدل در فاصله ۲۰ درصد عمق کانال از سطح زمین قرار داده شد. همچنین بمنظور مطالعه اثرات نیروی زلزله در رفتار شیبه‌ها، از روش شبه استاتیکی با نسبت شتاب زلزله‌ای برابر با $0.2g$ استفاده گردید. معیار گسیختگی موهر- کولمب در تعیین ضریب اطمینان پایداری انتخاب شد. در شکل ۱ هندسه نصف مقطع کانال به همراه المانهای مثلثی نامنظم و در شکل ۲ جریان نشست معکوس به همراه بردارهای سرعت در حالت پایین افتادن سطح آب در کانال نشان داده شده است. به منظور ارائه یک معیار مناسب برای انتخاب شیب جانبی مجاز کانالها، جنس خاک بستر بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید در نظر گرفته شد و اطلاعات مهندسی هر یک از گروههای خاکی از منابع معتبر علمی استخراج گردید. در این بین خصوصیات مهندسی خاک ارائه شده توسط اداره عمران آمریکا (۲۱) که حاصل تعداد ۲۰۰۵ آزمایش مختلف بر روی ۱۱۱۰ نمونه خاک، بعنوان مهمترین منبع برای استخراج این داده‌ها تلقی گردیده و خصوصیات مهندسی خاک، ارائه شده توسط پول ون (طبق طبقه بندی دین آلمان) (۱۵) و خصوصیات کیفی خاک ارائه شده توسط بولوز و براجا داس (۱ و ۲)، جزء دیگر منابع می‌باشند.



شکل ۱- هندسه ساده نصف مقطع کانال



شکل ۲- جهت جریان در حالت نشست معکوس

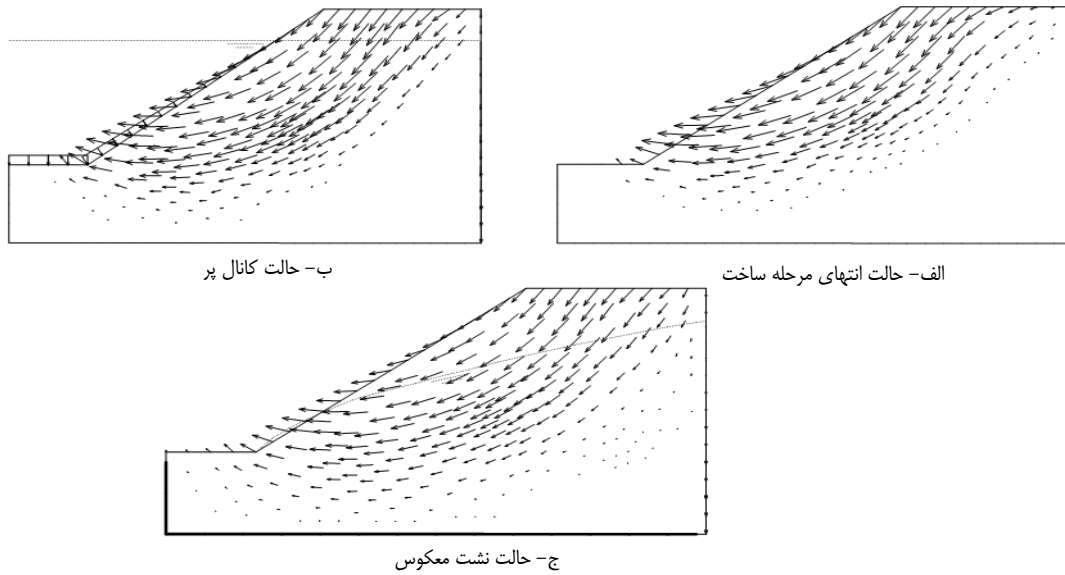
واحدهای بکار رفته در محاسبات در سیستم SI بوده و جرم حجمی آب در محاسبات ۱۰ کیلو نیوتن بر متر مکعب در نظر گرفته شده است که این مقدار خطای قابل ملاحظه‌ای در محاسبات ایجاد

جدول ۱- پارامترهای بکار رفته در انجام محاسبات مربوط به پایداری شیبها براساس طبقه بندی متحد

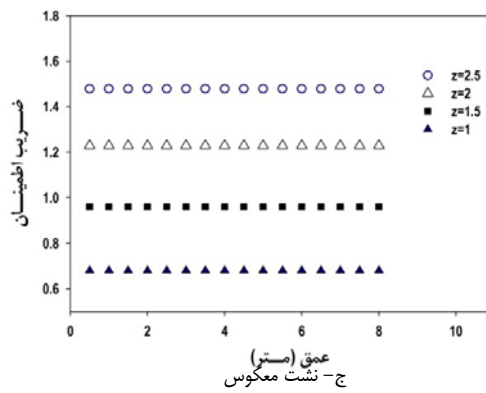
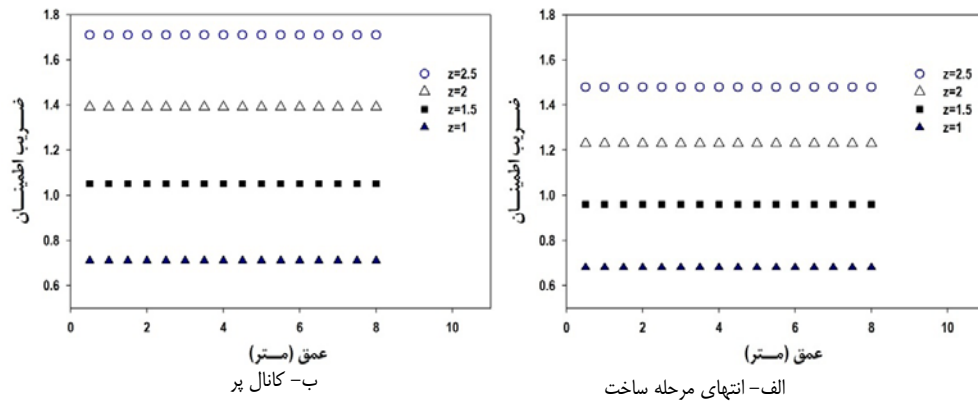
نسبت پواسون (بی بعد)	مدول الاستیسیته MPa	زاویه		زاویه		وزن واحد حجم اشباع خاک kN/m ³	وزن واحد حجم خشک خاک kN/m ³	نوع خاک
		اصطکاک داخلی زهکشی نشده (درجه)	اصطکاک داخلی زهکشی نشده kN/m ²	اصطکاک داخلی زهکشی شده (درجه)	اصطکاک داخلی زهکشی شده kN/m ²			
۰/۲۵	۱۵۰-۱۰۰	۳۸	۰	۳۸	۰	۲۲/۵-۱۹/۵	۲۱/۵-۱۸/۵	GW
۰/۲۵	۱۵۰-۱۰۰	۳۶	۰	۳۶	۰	۲۰/۵-۱۸/۵	۱۸/۵-۱۵/۵	GP
۰/۲۵	۱۵۰-۱۰۰	۳۴	۰	۳۴	۰	۲۱/۵-۲۰/۵	۲۰/۵-۱۹/۵	GM
۰/۲۵	۱۵۰-۱۰۰	۳۲	۶۰-۲۰	۳۰	۸۰-۳۰	۲۱/۵-۲۰/۵	۲۰/۵-۱۹/۵	GC
۰/۳	۱۰۰-۵۰	۳۸	۲۰-۱۰	۳۶	۴۰-۲۰	۲۰/۵-۱۸/۵	۲۰/۵-۱۷/۵	SW
۰/۳	۱۰۰-۵۰	۳۸	۱۰-۵	۳۶	۲۰-۱۰	۲۰/۵-۱۷/۵	۱۸/۵-۱۵/۵	SP
۰/۳	۱۰۰-۵۰	۳۴	۲۰-۱۰	۳۲	۵۰-۲۰	۲۱/۵-۱۹/۵	۲۰/۵-۱۸/۵	SM
۰/۳	۱۰۰-۵۰	۳۲	۱۰-۵۰	۳۰	۱۰۰-۵۰	۲۱/۵-۱۸/۵	۲۰/۵-۱۷/۵	SC
۰/۳۵	۱۰۰-۵۰	۳۰	۱۰-۵	۲۸	۱۲۰-۷۰	۲۱/۵-۱۸/۵	۱۷/۵-۱۵/۵	ML
۰/۳	۲۰-۵	۳۰	۲۰-۱۰	۲۸	۱۲۰-۷۰	۱۹/۵-۱۷/۵	۱۷/۵-۱۶/۵	ML-CL
۰/۳۲	۵۰-۱۰	۳۰	۲۰-۱۰	۲۸	۱۵۰-۸۰	۲۰/۵-۱۶/۵	۱۶/۵-۱۴/۵	MH
۰/۴۵-۰/۳۵	۲۰-۵	۲۰	۱۰	۱۸	۲۰۰-۱۰۰	۱۸/۵-۱۶/۵	۱۶/۵-۱۵/۵	CL
۰/۴۵-۰/۴	۲۰-۵	۲۰	۱۰	۱۸	۲۵۰-۱۰۰	۱۹/۵-۱۶/۵	۱۷/۵-۱۵/۵	CH
۰/۴۵-۰/۴	۲۰-۵	۳۴	۲۰-۱۰	۲۲	۱۰۰-۷۰	۱۷/۵-۱۵/۵	۱۵/۵-۱۴/۵	OL
۰/۴۵-۰/۴	۲۰-۵	۳۴	۲۰-۱۰	۲۲	۱۰۰-۷۰	۱۷/۵-۱۵/۵	۱۵/۵-۱۴/۵	OH

می‌شود. برای سایر خاکهای مورد مطالعه، به سبب وجود چسبندگی، منحنی تغییرات ضریب اطمینان نسبت به عمق کانال بصورت نمایی می‌باشد بطوریکه با افزایش عمق کانال در این نوع خاکها از نقادیر کوچک تا ۴ متر ضریب اطمینان پایداری شدیداً کاهش پیدا می‌کند. در حالیکه بعد از عمق ۴ متر و برای کانالهای عمیقتر روند کاهش ضریب اطمینان به ازای افزایش عمق کمتر بوده بطوریکه برای بیشتر خاکها می‌توان از عمق ۴ متر به بالا را بصورت خطی در نظر گرفت. در این حالت نسبت تغییرات مقدار ضریب اطمینان مربوط به یک شیب ثابت در مرحله انتهای ساخت دارای بیشترین مقدار بوده و در مرحله نشست معکوس شیب منحنی نسبت به عمق ملایمتر می‌گردد. در این نوع خاکها اختلاف بین شیبهای پایدار در شرایط مختلف کارکرد کانال خیلی زیاد است. دلیل این امر علاوه بر تغییر کارکرد کانال و وجود فشار منفذی، تغییر پارامترهای مقاومت برشی خاک بر اثر تغییر مقدار رطوبت می‌باشد. بطور مثال در خاک CL مقدار چسبندگی بر اثر تغییر حالت زهکشی شده به زهکشی نشده از ۱۰۰ به ۱۰ کیلو نیوتن بر متر مربع کاهش پیدا کند که این امر موجب می‌شود تا تغییرات عمده‌ای در مقدار ضریب اطمینان بوجود آید. بطوریکه برای بیشتر این نوع خاکها، در شرایط انتهای مرحله ساخت شیبهای تقریباً قائم ۰/۱:۱ (یک در جهت قائم و ۰/۱ در جهت افقی) نیز پایدار است در حالیکه در حالتی دیگر مقدار شیب به شدت کاهش پیدا می‌کند.

در شکل‌های ۴ و ۵، نمودارهای مربوط به دو نوع خاک GM و CL بعنوان نمونه‌ای از خاک چسبنده و غیر چسبنده و برای سه حالت از کارکرد مختلف کانال ضرایب اطمینان حاصله را نشان می‌دهد. نتایج محاسبات پایداری برای خاکهای GW، GP و GM نشان می‌دهند که شیبهای ساخته شده در این نوع خاکها از نظر پایداری در برابر لغزش نسبتاً ضعیف می‌باشند و ضریب اطمینان پایداری در هر سه حالت کارکرد کانال نسبت به تغییرات عمق ثابت می‌باشد. با مقایسه ضرایب اطمینان پایداری برای عمقهای ثابت بر اساس تغییر رفتار کانال، کمترین ضریب اطمینان مربوط به حالت نشست معکوس و با پایین افتادگی ناگهانی سطح آب می‌باشد و به سبب عدم حضور نیروهای فشار منفذی در انتهای مرحله ساخت، در این حالت بیشترین ضریب اطمینان حاصل می‌گردد. در حالت کارکرد کانال بصورت پر و با ظرفیت طراحی که نیروی هیدرواستاتیک آب وارد بر دیواره شیب بعنوان یک نیروی مقاوم در برابر لغزش شیب عمل می‌کند، به سبب افزایش فشار منفذی در بدنه شیب، مقدار ضریب اطمینان پایداری شیب در برابر لغزش نسبت به انتهای مرحله ساخت کمتر است. محاسبات صورت گرفته نشان می‌دهد که مقدار کاهش ضریب اطمینان پایداری بر اثر تغییر کارکرد کانال، وابسته به مقدار زاویه شیب جانبی کانال بوده و با کاهش شیب از مقدار این تغییرات کاسته



شکل ۳- بردارهای مقدار و جهت تغییر شکل در توده لغزش احتمالی دیواره‌های جانبی کانالها



شکل ۴- تغییرات ضریب اطمینان پایداری شیب در خاک GM

اثرات زلزله

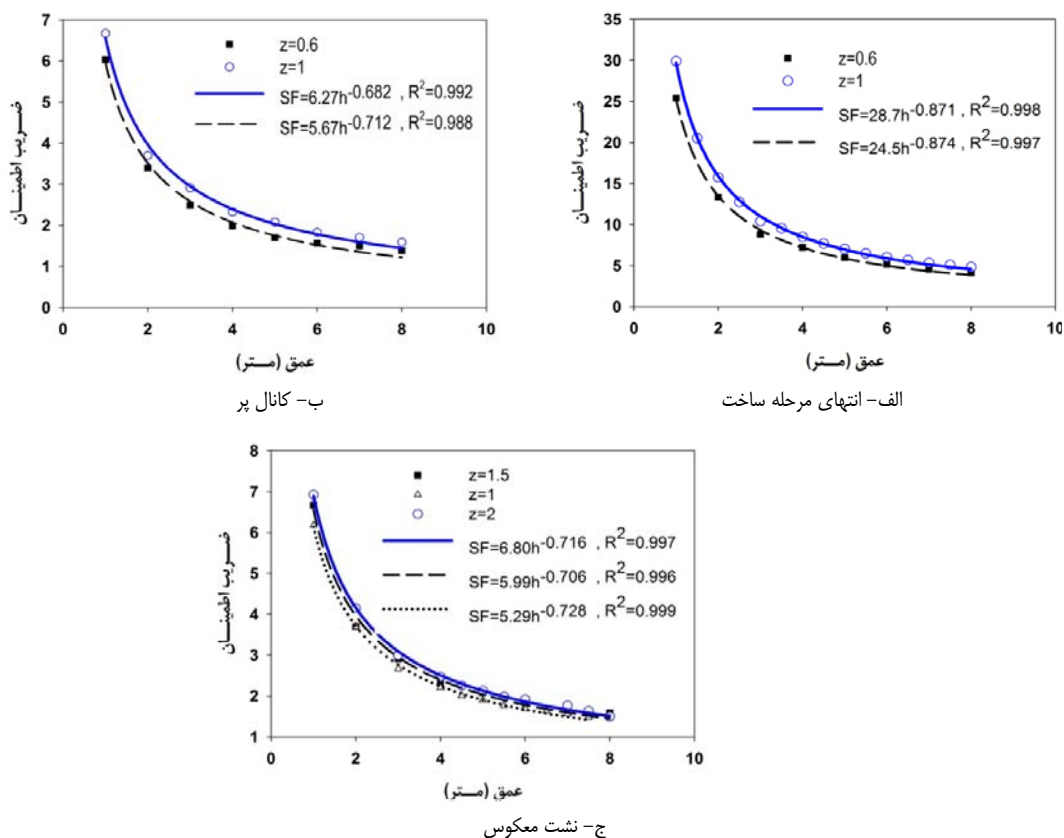
ضریب اطمینان پایداری در حالت اعمال شتاب زلزله و عدم اعمال آن به ازای شیب جانبی ۱:۱/۵ به ترتیب ۱/۲۲ و ۱/۳۲ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به محاسبات پایداری صورت گرفته برای دیواره‌های جانبی کانالها آبیاری و با بررسی سطوح لغزش و همچنین ضرایب اطمینان پایداری شیب در انواع خاکها بر اساس حالات مختلف کارکرد کانال، نتایج زیر حاصل می‌شود:

نوع لغزشها و گسیختگیهایی که می‌تواند در دیواره کانالهای آبیاری اتفاق بیافتد از نوع لغزش کمرکش یا دایره پای شیروانی است که دلیل آن گسترش محدود مرزهای کناری هندسه شیب می‌باشد زیرا این عامل موجب محدود شدن دامنه گسترش ابتدا و انتهای سطح لغزش گردیده و بعلاوه به علت یکنواخت بودن لایه خاک احتمال لغزشهای عمیق کمتر است.

محاسبات صورت گرفته نشان می‌دهد که برای کلیه شیبهایی که در حالت بدون اعمال نیروی زلزله، دارای ضریب اطمینان حداقل برابر ۱/۵ باشند، در بیشتر خاکها با اعمال شتاب زلزله ۰/۲g، ضریب اطمینان بیشتر از ۱ می‌باشد. لذا شیبهای انتخابی در حالت بدون زلزله، در حالت با زلزله نیز قابل قبول می‌باشند. در جداول ۲ و ۳ نتایج حاصل از تحلیل پایداری شیبهای جانبی کانالهای خاکی را به همراه شیب پایدار بر اساس عمق کانال و مقدار ضریب اطمینان مربوطه در حالت عادی و حالت اعمال نیروی زلزله، برای انواع خاکهای غیر چسبنده و چسبنده نشان داده شده است. در این جدول شیب جانبی کانالهای بررسی شده به صورت نسبت Z به ۱ بیان شده که Z کتانژانت زاویه خارجی شیب جانبی نسبت به افق می‌باشد. مقادیر ضریب اطمینان پایداری هر شیب با توجه به حالت اعمال یا عدم اعمال شتاب زلزله بصورت متناظر در ستونهای دوم و سوم این جداول ارائه شده است. بعنوان مثال در جدول ۳، برای خاک SC در حالت پایین افتادگی ناگهانی سطح آب برای کانالی به عمق ۶ متر، مقدار



شکل ۵ - تغییرات ضریب اطمینان پایداری شیب در خاک CL

جدول ۲- ضریب اطمینان پایداری دیواره‌های جانبی کانالهای آبیاری برای خاکهای غیر چسبنده

الف- انتهای مرحله ساخت			
نوع خاک	شیب جانبی (مستقل از عمق)	ضریب اطمینان پایداری در حالت بدون زلزله	ضریب اطمینان با اعمال ضریب زلزله ۰/۲*
GW	۱:۲	۱/۶۱	۱/۲۵
GP	۱:۱/۵	۱/۵۷	۱/۲۳
GM	۱:۲/۲	۱/۵۶	۱/۲۲

ب- کانال پر			
نوع خاک	شیب جانبی (مستقل از عمق)	ضریب اطمینان در حالت بدون زلزله	ضریب اطمینان با اعمال ضریب زلزله ۰/۲*
GW	۱:۲	۱/۵۰	۱/۱۸
GP	۱:۱/۸	۱/۵۳	۱/۲۱
GM	۱:۲/۵	۱/۵۵	۱/۲۱

ج- نشت معکوس			
نوع خاک	شیب جانبی (مستقل از عمق)	ضریب اطمینان در حالت بدون زلزله	ضریب اطمینان با اعمال ضریب زلزله ۰/۲*
GW	۱:۲/۷	۱/۵۲	۱/۱۶
GP	۱:۳	۱/۵۵	۱/۱۸
GM	۱:۲/۶	۱/۵۱	۱/۱۵

حالت کارکرد کانال بصورت پر و با حداکثر ظرفیت طراحی در شرایطی که نیروی هیدرواستاتیک آب وارد بر دیواره شیب بعنوان یک نیروی مقاوم در برابر لغزش شیب عمل می‌کند، به سبب افزایش فشار منفذی در بدنه شیب، مقدار ضریب اطمینان در برابر لغزش نسبت به انتهای مرحله ساخت کمتر است. محاسبات صورت گرفته نشان می‌دهد که مقدار کاهش ضریب اطمینان در اثر تغییر کارکرد کانال وابسته به مقدار زاویه شیب بوده و با کاهش شیب از مقدار این تغییرات کاسته می‌شود.

با توجه به اینکه ضریب اطمینان پایداری شیب نسبت به حالت کارکرد کانال متغییر می‌باشد و ضریب اطمینان در انتهای مرحله ساخت نسبت به دو مرحله دیگر بیشترین مقدار را داراست، لذا انتخاب شیب پایدار بر اساس این حالت می‌تواند سازه را با خطرات جدی روبه رو سازد. لذا توصیه می‌شود انتخاب شیب بر اساس یکی از حالات نشت معکوس و یا حالت کانال پر و بر اساس بخشهای ب و الف جدول ۳ انجام گیرد. در کانالهایی که در زمان کارکرد آنها امکان پایین افتادن سریع سطح آب وجود دارد، باید طراحی و انتخاب مقدار شیب جانبی بر اساس ضریب اطمینان پایداری در حالت نشت معکوس صورت گیرد. در صورتیکه سرعت پایین افتادن سطح آب در کانال فرصت کافی برای زهکشی دیواره‌های جانبی را فراهم سازد انتخاب شیب مجاز می‌تواند براساس تحلیل کانال در حالت پر صورت گیرد.

بردارهای جهت تغییر شکلها بعد از گسیختگی شیب برای سه حالت مختلف کارکرد کانال، نشان دهنده این است که بیشترین تغییر شکلها در بخشهای پایینی شیب اتفاق می‌افتد، در حالت نشت معکوس حداکثر تغییر شکلها درست در زیر نقطه تلاقی خط نشت با سطح شیب اتفاق می‌افتد که علت آن بالا بودن فشار آب منفذی در این محل بر اثر کاهش تنش موثر در سطح لغزش می‌باشد.

روند تغییرات ضریب اطمینان نسبت به تغییرات عمق کانال را می‌توان بدون در نظر گرفتن حالت کارکرد کانال با توجه به چسبنده بودن و یا غیر چسبنده بودن خاک به دو گروه تقسیم کرد. در خاکهای غیر چسبنده، مقدار ضریب اطمینان در هر سه حالت کارکرد تنها وابسته به زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌باشد و در شیبه‌های ثابت مقدار آن مستقل از ارتفاع شیب است. در حالیکه در خاکهای چسبنده، روند تغییرات ضریب اطمینان نسبت به عمق به صورت یک تابع نمایی بوده و شدت تغییرات آن تا عمق تقریباً ۴ متر بسیار زیاد می‌باشد و در اعماق بیشتر می‌توان این تابع را به صورت خط راست با شیب منفی در نظر گرفت.

مقایسه مقدار ضرایب اطمینان پایداری در تمامی خاکها نشانگر تغییر آن نسبت به تغییر حالت کارکرد کانال است این تغییرات به دلیل تغییر پارامترهای مقاومت برشی خاک و مقدار فشار منفذی می‌باشد. با توجه به این موضوع، بیشترین ضریب اطمینان مربوط به حالت انتهای مرحله ساخت و کمترین آن مربوط به حالت نشت معکوس است و در

جدول ۳- ضریب اطمینان پایداری دیواره‌های جانبی کانالهای آبیاری برای خاکهای چسبنده

الف- کانال خالی

نوع خاک	شیب جانبی در هر عمق (z)				ضریب اطمینان در حالت بدون زلزله برای شبیهای توصیه شده در هر عمق				ضریب اطمینان با اعمال ضریب زلزله ۰/۲ برای شبیهای توصیه شده در هر عمق			
	۲متر	۴متر	۶متر	۸متر	۲متر	۴متر	۶متر	۸متر	۲متر	۴متر	۶متر	۸متر
GC	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۴/۷۵	۲/۸۲	۲/۱۴	۱/۷۹	۲/۷۱	۱/۱۲	۱/۲۲	۱/۳۴
SW	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۴/۷۹	۲/۶۷	۱/۹۷	۱/۶۴	۲/۱۴	۱/۷۱	۱/۵۳	۱/۲۵
SP	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۳/۲۵	۱/۶۲	۱/۷۵	۱/۸۴	۱/۹۴	۱/۲۱	۱/۲۴	۱/۳۱
SM	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۶/۲۳	۳/۳۷	۲/۴۴	۱/۹۵	۴/۳۱	۳/۱۶	۱/۹۵	۱/۴۱
SC	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۸/۹۶	۴/۷۱	۳/۳۱	۲/۶۰	۴/۲	۲/۸۲	۱/۶۷	۱/۹۲
ML	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۹/۰۸	۶/۲۲	۳/۳۷	۲/۶۴	۵/۱۴	۴/۴۵	۱/۹۸	۱/۵۴
MH	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۱/۵۲	۵/۹۷	۴/۲۴	۳/۳۳	۷/۴	۳/۲۱	۲/۱۴	۱/۵۱
CH	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۰/۵۴	۵/۳۳	۳/۶۶	۳/۰۶	۶/۲	۲/۷۴	۲/۲۶	۱/۴۵
CL	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۵/۴۱	۸/۵۴	۶/۸۱	۴/۵۶	۹/۸	۴/۳۸	۳/۲۴	۱/۹۴
OH-OL	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۹/۸۶	۵/۶۷	۲/۳۴	۱/۷	۴/۵۳	۳/۷۲	۱/۸۴	۱/۲۱

ب- کانال پر

نوع خاک	شیب جانبی در هر عمق				ضریب اطمینان در حالت بدون زلزله برای شبیهای توصیه شده در هر عمق				ضریب اطمینان با اعمال ضریب زلزله ۰/۲ برای شبیهای توصیه شده در هر عمق			
	۲متر	۴متر	۶متر	۸متر	۲متر	۴متر	۶متر	۸متر	۲متر	۴متر	۶متر	۸متر
GC	۰/۱	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۳/۵۳	۲/۸۳	۲/۱۲	۱/۸	۲/۰۲	۱/۵۸	۱/۲۳	۱/۱۹
SW	۰/۱	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۲/۶۵	۲/۲۲	۱/۷۸	۱/۵۴	۱/۶۸	۱/۴۶	۱/۳۲	۱/۱۸
SP	۰/۱	۰/۶	۱	۱	۱/۷۷	۱/۵۴	۱/۶۹	۱/۵۲	۱/۲۵	۱/۱۳	۱/۱۵	۱/۰۶
SM	۰/۱	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۲/۳۸	۲/۰	۱/۵۹	۱/۷۶	۱/۵۶	۱/۵۲	۱/۱۳	۱/۲۶
SC	۰/۱	۰/۶	۱	۱/۵	۲/۰۴	۱/۵۲	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۳	۱/۱۲	۱/۱۴	۱/۰۳
ML	۰/۱	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۲/۷۳	۲/۲۴	۱/۷۳	۱/۵۲	۱/۶۲	۱/۴۷	۱/۱۷	۱/۱
MH	۰/۱	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۲/۶۹	۲/۱۹	۱/۶۸	۱/۶۶	۱/۴۲	۱/۲۸	۱/۱۲	۱/۰۶
CH	۰/۱	۰/۶	۱	۱/۵	۲/۲۳	۲/۰۹	۱/۶۰	۱/۷۵	۱/۳۶	۱/۲۲	۱/۲۱	۱/۱۳
CL	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۱	۶/۰۳	۱/۹۹	۱/۵۷	۱/۵۹	۴/۰۵	۱/۲۲	۱/۰۵	۱/۰۴
OH-OL	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۱	۳/۶۶	۲/۱۶	۱/۸۷	۱/۶۱	۲/۱۱	۱/۲۹	۱/۰۲	۰/۹۸

ج- نشست معکوس

نوع خاک	شیب جانبی در هر عمق				ضریب اطمینان در حالت بدون زلزله برای شبیهای توصیه شده در هر عمق				ضریب اطمینان با اعمال ضریب زلزله ۰/۲ برای شبیهای توصیه شده در هر عمق			
	۲متر	۴متر	۶متر	۸متر	۲متر	۴متر	۶متر	۸متر	۲متر	۴متر	۶متر	۸متر
GC	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۱	۳/۳۴	۲/۰۲	۱/۴۹	۱/۵۳	۱/۵۲	۱/۴۶	۱/۱۵	۱/۱۴
SW	۰/۶	۱	۱	۱/۵	۲/۲۴	۱/۷۲	۱/۶۴	۱/۴۸	۱/۴۸	۱/۳۵	۱/۱۲	۱/۰۵
SP	۱	۱/۵	۲	۲	۱/۹۷	۱/۶۷	۱/۶۲	۱/۴۷	۱/۳۶	۱/۲۶	۱/۱۹	۱/۰۸
SM	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۳/۷۴	۲/۲۴	۱/۶۷	۱/۶۶	۱/۷۹	۱/۵۱	۱/۱۹	۱/۱۳
SC	۰/۶	۱	۱/۵	۲	۲/۱۱	۱/۷۲	۱/۷۲	۱/۵۳	۱/۴۹	۱/۳۴	۱/۳۲	۱/۱۲
ML	۰/۶	۱	۱/۵	۲	۱/۹۴	۱/۶۲	۱/۵۲	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۳۳	۱/۱۵	۱/۱۴
MH	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۱	۴/۲۵	۲/۴	۱/۷۳	۱/۵۴	۲/۲۳	۱/۵۸	۱/۲۴	۱/۱۶
CH	۰/۶	۱/۵	۲	۳	۱/۷۱	۱/۵۷	۱/۵۹	۱/۴۷	۱/۲۸	۱/۲۶	۱/۲۲	۱/۰۳
CL	۰/۶	۱	۱/۵	۲	۲/۳۱	۱/۹۱	۱/۶۹	۱/۵۰	۱/۶۲	۱/۲۶	۱/۱۹	۱/۰۴
OH-OL	۰/۶	۱	۱	۱/۵	۲/۵	۲/۰۲	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۸	۱/۲۶	۱/۱۱	۱/۰۲

منابع

- ۱- براجا ام.داس. ۱۳۷۷. اصول مهندسی ژئوتکنیک. جلد دوم مکانیک خاک. انتشارات پارس آیین. ترجمه طاحونی، ش.
- ۲- بولز ج. ۱۳۷۹. تحلیل و طراحی پی. انتشارات نشر جویبار. ترجمه اردشیر ا.
- ۳- حاج علیلوی بناب م.، و بهروز سرند ف. ۱۳۹۱. بهینه سازی مقطع عرضی کانالهای واقع بر روی خاکهای متورم شونده بکمک موقعیت درزهای اجرایی و شیب دیواره ها. سومین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه های آبیاری و زهکشی. کرج.
- ۴- رحیمی ح.، باروتکوب ش. ۱۳۷۴. بررسی علل تخریب پوشش بتنی کانالهای آبیاری در استان خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- 5- Ahmadi H., Rahimi H. and Abdollahi J. 2009. Optimizing the Location of Contraction-Expansion Joints in Concrete Canal Lining. Irrigation and Drainage, 58: 116-125.
- 6- 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)
- 7- Brinkgreve R.B.J. 1998. Plaxis.B.V.Refrance manual. University of Stuttgart. Germany.
- 8- Bolton M.D. 1986. The Strength and Dilatancy of Sands. Geotechnique, London, 36 (1): 65-78.
- 9- Chow V.T. 1950. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill, New York.
- 10- Drucker D.C., and Prager W. 1952. Soil Mechanics and Plastic Analysis on Limit Design. Quarterly of applied mathematics Journal. 10: 157-165.
- 11- El Dorado Irrigation District. 2002. Project 184: Canal Failure Frequency and Analysis. El Dorado Irrigation District. pp: 1-9.
- 12- Framji K.K. 1972. Design Practices of Irrigation Canals in the World. I.C.I.D. Publication.
- 13- French R.H. 1986. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill, New York.
- 14- I.C.I.D. 1976. Open Channel Construction, Canal Construction-Machinery and Techniques. NewDelhi.
- 15- Lawrence E.F. and Miguel A.M. 1986. Canal Design: Optimal Cross Section. Irrigation and Drainage Eng. 113 (3): 335-355.
- 16- Kim J.M., Salgado R., Sloan S.W., and Yu S.H. 1998. Limit Analysis versus Limit Equilibrium for Slope Stability. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.24 (1): 1-11.
- 17- Parabhata K.S., Govinda C.M., and Bhagu R.C. 2002. Open Design of Transmission. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 128(4): 234-243.
- 18- Paul V.S., and Jan B. 2003. Geotechnical Eng. Handbook. Ernest and Sons Pub. Vol.1
- 19- Philip H.B., and Karaki S. 1971. Seepage Effect on Channel Bank Stability. Journal of Irrigation and Drainage. 97(1): 59-72.
- 20- 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.
- 21- USBR. 1990. Earth Manual. Third Edition Part 1.
- 22- U.S.Army Corps of Engineers. 1970. Stability of Earth and Rock-Fill Dams. U.S. Department Of Army, Corps of Engineers. EM 110-2-1902.



Determination of Stable Side Slops in Irrigation Canals

H. Ahmadi^{1*} - V.R. Verdinejad² - M. Hemati³

Received:29-12-2012

Accepted:22-05-2013

Abstract

The main objective of this research was to find the stable side slope of irrigation canals, considering type of subgrade materials as well as canal depth. For this purpose two methods of limit equilibrium and finite element methods were used for stability analysis. In respect to the geotechnical properties of subgrade materials, the Unified Soil Classification System as well as the technical properties of each soil group such as cohesion, angle of internal friction and unit weight was used based on the recommendations given in the literature. To consider operation conditions, three cases namely: steady seepage, rapid drawdown and end of construction of canal were taken in to consideration. The results of investigation showed that stability of side slopes in canals is a function of type of subgrade material in respect to its cohesiveness, operation conditions and depth. In non-cohesive materials, the safety factor is not related to the canal depth and is normally less. Based on the mentioned functions safety factor of side slopes of canals with depth up to 8 meters were calculated. For non-cohesive soils stable slopes were about 1:0.6 and for cohesive soils it was determinate around 1:3.

Keywords: Stable slope, Canal lining, Rapid drawdown, Sliding