Archive of SID

اثرات موقعیت و عمق ترک کششی در پایداریِ ساحل رودخانه[1]

ابراهیم امیری تکلدانی، امیر صمدی و حسن رحیمی[2]

تاریخ دریافت مقاله: ۸۳/۲/۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۸٤/۷/۱٦

چکیده

از عمده‌ترین منابع تولید رسوبات، فرسایش سواحل رودخانه‌هاست که به دلیل اثرگذاری بر خصوصیات مجاری رودخانه‌ها، در توسعهٔ پهنهٔ سیلابی و مدیریت منابع آب بسیار اهمیت دارد. در مطالعات پایداری سواحل رودخانه، موقعیت و عمق ترک کششی از جمله پارامترهای موجود در تعریف شکل هندسی سواحل در معرض تخریب هستند که تاکنون جهت تعیین آنها و میزان تأثیراتشان بر پایداری ساحل تحقیقات بسیار اندکی شده است. در این تحقیق، ضمن بررسی سواحل برخی از رودخانه‌های داخل کشور از قبیل رودخانه‌های کارون، کرخه، کرخه‌نور، روفایه، کرج، و کردان به‌منظور ارائه روشی مناسب جهت محاسبهٔ موقعیت و عمق ترک کششی، تأثیرات ترک کششی در تعیین پایداری سواحل رودخانه نیز مطالعه شده است. در این باره، با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از ۵۱ محل در مسیر رودخانه می‌سی‌سی‌پی در آمریکا، با یک مدل جامع آنالیز پایداری سواحل رودخانه‌ها (EMSAR) پایداری ساحل آنالیز شده است. براساس نتایج آنالیز پایداری برای اطلاعات موجود، مقدار ضریب ایمنی ساحل در برابر فرسایش به‌ترتیب اهمیت نسبت به تغییرات زاویهٔ ساحل، تغییرات چسبندگی، و وزن مخصوص مصالح بیشترین حساسیت را دارد. نتایج همچنین نشان دهنده تأثیر ناچیز تغییرات عمق ترک کششی بر مقدار ضریب ایمنی پایداری ساحل رودخانه است به گونه‌ای که در صورت وجود ۲۰ درصد خطا در تعیین مقدار عمق ترک و زاویهٔ ساحل، میزان خطای حاصل در مقدار ضریب ایمنی به‌ترتیب برابر ٤ و ۲۵ درصد است که بیانگر حساسیت اندک ضریب ایمنی نسبت به تغییرات عمق ترک کششی و حساسیت زیاد ضریب ایمنی نسبت به تغییرات مقدار زاویهٔ ساحل است. براساس مشاهدات صحرایی و تعیین نوع ذرات تشکیل دهندهٔ سواحل تخریب‌یافته، مشخص شد که توسعهٔ ترک کششی در خاک‌های دربردارنده ۱۰-۲۰ درصد وزنی رس در صورت تغییر شرایط رطوبتی خاک محتمل است و در خاک‌های با چسبندگی بالا یا خاک‌های درشت دانه امکان توسعه ترک کششی وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی

پایداری ساحل رودخانه، ترک کششی، گسیختگی صفحه‌ای، مدل جامع آنالیز پایداری ساحل رودخانه

۱- برگرفته از طرح تحقیقاتی قطب علمی با عنوان «تعیین موقعیت و عمق ترک کششی و اثرات آنها در پایداری ساحل رودخانه»، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۲- به ترتیب استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی آب و خاک، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، تلفن: ۲۲٤۱۱۱۹ و ۲۲۲٦۱۸۱-۰۲٦۱، دورنگار: ۲۲٤۱۱۱۹-۰۲٦۱، پیام نگار: amiri@ut.ac.ir. کارشناس ارشد سازه‌های آبی و استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

فرسایش سواحل رودخانه از عمده‌ترین منابع تولید رسوبات بوده که به دلیل اثرگذاری بر خصوصیات مجاری رودخانه‌ها، در توسعهٔ بهنهٔ سیلابی و مدیریت منابع آب بسیار اهمیت دارد. فرسایش سواحل همچنین موجب ایجاد خسارت‌های فراوان به اراضی و تأسیسات مجاور ساحل می‌گردد. این پدیده در ایالات متحده آمریکا به اندازه‌ای اهمیت یافت که در سال ۱۹۷٤ کنگره آن کشور مصوبه‌ای جهت بررسی جامع و سراسری درخصوص این موضوع صادر نمود. بررسی‌ها و مطالعات انجام شده بعدی مؤید این نکته بود که به سبب پیچیدگی‌های موجود، ابتدا نیاز به درک بهتر از پارامترهای دخیل در فرآیند فرسایش ساحل می‌باشد. در رودخانه‌هایی که هنوز به رژیم تعادلی خود نرسیده‌اند تعریض و تعمیق رودخانه و در رودخانه‌های پیچان، عقب‌نشینی ساحل خارجی از پدیده‌های عادی به شمار می‌روند. به‌عنوان مثال نرخ تخریب سواحل در برخی مجاری ناپایدار در ایالات متحده آمریکا عبارت است از: ۱/۵ متر در سال در سیستم رودخانه اوبیون- فورکد دیر در تنسی غربی، ۱٤ متر در سال در رودخانه سیمارون در کانزاس، حدود ۵۰ متر در سال در رودخانه گیلا در آریزونا و بیش از ۱۰۰ متر در سال در برخی آبراهه‌های سیستم رودخانه توتل در واشینگتن (Simon *et al.*, 1999).

در ایران نیز، با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی، تغییرات مورفولوژیکی رودخانه تجن طی مدت ٤۵ سال (۱۳۷۹-۱۳۳٤) مورد بررسی قرار گرفته که مبین افزایش عرض رودخانه از ۱٦۳/۸ به ۵٤۰/۷ متر و مساحت پلان رودخانه از ۹۲۷/٤۳ به ۲٦۷٤/۹ هکتار است. بر اساس مطالعات انجام شده، متوسط میزان اتلاف اراضی بر اثر فرسایش کناری رودخانه تجن در سواحل ایران ۳۳/۱ و در سواحل ترکمنستان ۳/۹ مترمکعب در متر در سال برآورد شده است (Ahmadian-Yazdi, 2001).

در مطالعات مربوط به پایداری سواحل رودخانه، موقعیت و عمق ترک کششی از جمله پارامترهای کلیدی در تعریف شکل هندسی سواحل تخریب‌یافته به شمار می‌روند. عمق ترک کششی باعث کاهش طول مؤثر سطح بالقوهٔ گسیختگی و متعاقباً کاهش پایداری ساحل می‌گردد. به منظور محاسبه پارامترهای فوق اگرچه تا کنون چندین فرمول تجربی پیشنهاد شده است لیکن این فرمول‌ها قادر به تخمین صحیح مقادیر این پارامترها نمی‌باشند.

رانکین (۱۸۵۷) وجود تنش کششی افقی در لایه‌های فوقانی خاک پشت یک دیوار قائم را اثبات نمود. ترزاقی (۱۹٤۳)، تئوری‌های رانکین را در مورد گسیختگی نوع کولمن (۱۸۷۵) در یک ساحل قائم به کار برد. عمق ناحیه کشش از دیاگرام موهر محاسبه شده و عبارت است از (Thorne, 1982):

$$Z_0 = \frac{2C}{\gamma_s} tan(45 + \phi/2) \qquad (۱)$$

در رابطه شمارهٔ ۱، Z_0 = عمق ناحیه تنش کششی خاک؛ γ_s = وزن مخصوص مصالح و C و ϕ به ترتیب= چسبندگی و زاویه اصطکاک درونی مصالح ساحل می‌باشند. در سواحل بلند مقدار Z_0 تنها

www.SID.ir

Archive of SID

درصد کمی از ارتفاع ساحل بوده و حضور ترک کششی به طور مؤثر شکل هندسی سطح گسیختگی را تغییر نمی‌دهد. بنابراین پتانسیل ترک‌خوردگی با کاهش طول سطح گسیختگی توسط قسمتی در نظر گرفته می‌شود که درون ناحیه کششی واقع شده است. در سواحل کوتاه و قائم، با توجه به وقوع گسیختگی به صورت یک قطعه خاک جدا شده از ناحیهٔ توسعهٔ ترک کششی و لغزش آن به سمت پایین بر روی یک سطح گسیختگی صفحه‌ای یا با انحنای کم، روش کولمن اصلاح شده برای توصیف این نوع مکانیزم گسیختگی قابل استفاده است.

شاهدات ترزاقی (۱۹۴۳) تأیید کنندهٔ این نکته است که حداکثر عمق ترک کششی در حدود نصف ارتفاع دیوار قائم بدون تقویت‌کننده است (Thorne, 1982). همچنین بر اساس نتایج آزمون‌های کششی مستقیم روی خاک‌ها، مقاومت کششی محصور نشده در حدود ۱۰-۱۵ درصد مقاومت فشاری است. بنابراین، مقاومت کششی خاک ایجاد ترک در اعماق کمتر از Z_0 را محدود می‌کند (Thorne, 1982). لوهنس و هندی (Lohnes & Handy, 1968) نشان دادند که اگر مقاومت کششی در سطح خاک حداکثر باشد، مقدار آن به طور خطی با کاهش عمق در Z_0 به صفر می‌رسد. این دو محقق معادلهٔ زیر را برای تخمین عمق ترک کششی در خاک دارای مقاومت کششی محدود ارائه کردند:

$$y = Z_0\left(1 - \frac{\sigma_{TC}}{\sigma_t}\right) \qquad (۲)$$

در رابطه شمارهٔ ۲، σ_{TC} = مقاومت کششی خاک؛ σ_t = تنش کششی حداکثر در سطح خاک، و y = عمق ترک کششی است. لوهنس و هندی (Lohnes & Handy, 1968) همچنین با استفاده از دیاگرام موهر نشان دادند که:

$$\sigma_t = 2C\tan\left(45 - \phi/2\right) \qquad (۳)$$

تیلور (Taylor, 1948) گزارش کرد که گسیختگی در صفحه‌ای اتفاق می‌افتد که چسبندگی بسیج شده در آن حداکثر باشد. لوهنس و هندی (Lohnes & Handy, 1968) با استفاده از تئوری فوق و در نظر گرفتن شکل هندسی ساده‌ای از ساحل رودخانه، رابطهٔ زیر را برای تعیین زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی ارائه نمودند:

$$\beta = \frac{\alpha + \phi}{2} \qquad (٤)$$

در رابطهٔ شمارهٔ ٤، β = زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی؛ و α = زاویهٔ ساحل رودخانه پیش از وقوع گسیختگی است. لوهنس و هندی (Lohnes & Handy, 1968) خاطر نشان کردند که نتایج حاصل از معادلات فوق تقریبی است، زیرا شکل توزیع تنش به محض آغاز ترک و توسعه آن تغییر می‌کند.

بیکر (Baker, 1981) گزارش کرده است که معادلهٔ شمارهٔ ۲ برای شیب‌های محدود قابل کاربرد نیست. داربی و تورن (Darby & Thorne, 1994) گزارش کردند که بر اساس شکل هندسی سواحل تخریب‌یافته و نیز اطلاعات جمع‌آوری شده از ۵۱ محل در رودخانه می‌سی‌سی‌پی در ایالات متحده آمریکا، روابط فوق قادر به پیش‌بینی صحیح عمق ترک کششی در محل‌های مورد بررسی نبوده‌اند. تورن و ابت (Thorne & Abt, 1993) اظهار نظر

www.SID.ir

Archive of SID

کرده‌اند که عمق ترک کششی معمولاً معادل نصف ارتفاع ساحل است و در صورت نبود اطلاعات محلی، می‌توان عمق ترک کششی را نصف ارتفاع ساحل در نظر گرفت. تورن و ابت (Thorne & Abt, 1993) همچنین اعلام کردند که در صورت تغییر مقدار عمق ترک کششی از ۰/۳ تا ۰/۷ ارتفاع ساحل، ضریب ایمنی فقط حداکثر ۱۰ درصد تغییر می‌کند.

عثمان و تورن (Osman & Thorne, 1988) مدلی برای پیش‌بینی تغییرات پایداری ساحل در مقابل فرسایش جانبی و نیز کف‌کنی بستر ارائه کردند. در این مدل، آنالیز پایداری شیب برای سواحل تند ($\alpha > 60^{\circ}$) همراه با روش ارائه شده توسط آرولاناندان و همکاران (۱۹۸۰) برای محاسبهٔ فرسایش جانبی مصالح ساحل چسبنده بر اثر اختلاط با جریان رودخانه با یکدیگر ترکیب شده‌اند. مدل عثمان و تورن قادر به محاسبهٔ پارامترهای تعریف کنندهٔ شکل هندسی ساحل پس از گسیختگی نظیر زاویهٔ صفحه گسیختگی، عرض بلوک گسیختگی، و حجم مصالح تخریب شده در واحد طول آبراهه برای حالت بحرانی است. در این مدل، برای محاسبهٔ زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی ساحل از معادلهٔ زیر استفاده شده که براساس تئوری تیلور (Taylor, 1948) می‌باشد:

$$\beta = 0.5\left(\tan^{-1}\left[\left(\frac{H}{H'}\right)^{2}\left(1 - K_{i}^{2}\right)\tan\alpha \right] + \phi \right) \quad (5)$$

در رابطهٔ فوق، k_i= نسبت عمق ترک کششی به ارتفاع ساحل؛ و H و H' به ترتیب= ارتفاع ساحل از محل پاشنهٔ ساحل و ارتفاع ساحل در بالای محل کف‌کنی پاشنهٔ ساحل است. در روش عثمان و تورن، صفحهٔ گسیختگی منحصراً از درون پاشنه ساحل عبور کرده، عمق ترک کششی موجود با عمق ترک کششی قبلی یکسان در نظر گرفته شده است و نیروهای هیدرواستاتیک ناشی از سطح آب رودخانه و سطح آب زیرزمینی مدنظر قرار نگرفته‌اند.

داربی و تورن (Darby & Thorne, 1996) مدل دیگری برای پیش‌بینی پایداری سواحل فرسایشی رودخانه‌هایی که سواحل آنها دارای شیب تند، مصالح چسبنده و همگن است، در برابر گسیختگی صفحه‌ای ارائه کردند. در این مدل تأثیرات فشار آب منفذی و فشار محصور کنندهٔ هیدرواستاتیک و حضور ترک کششی مدنظر قرار گرفته و صفحهٔ گسیختگی لزوماً از درون پاشنهٔ ساحل عبور نمی‌کند. با توجه به وابستگی نیروی فشار منفذی به مقدار زاویهٔ صفحه گسیختگی و حالت‌های متعدد قرارگیری سطح آب زیرزمینی و سطح آب رودخانه نسبت به شکل هندسی ساحل رودخانه، رابطهٔ ارائه شده توسط داربی و تورن (Darby & Thorne, 1996) برای محاسبهٔ زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی تنها با کاربرد روش تکرار نیوتن- رافسون قابل محاسبه است.

امیری تکلدانی (Amiri-Tokaldany, 2002) علاوه بر توسعه مدل داربی و تورن (Darby & Thorne, 1996) برای خاک‌های چند لایه، نگرش پایداری جدیدی ارائه داد. امیری تکلدانی (Amiri-Tokaldany, 2002) ضمن توسعهٔ مدل داربی و تورن (Darby & Thorne, 1996)،

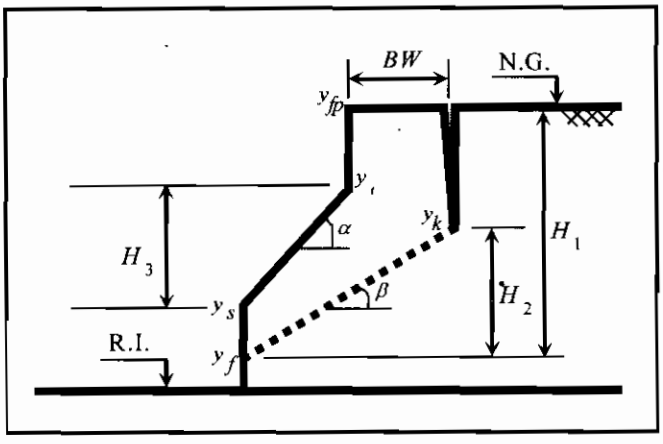
www.SID.ir

Archive of SID

علاوه بر نیروهای فشار منفذی و محصور کننده هیدرواستاتیک، نیروی ناشی از آب موجود در ترک کششی و نیروی مکش در بخش غیر اشباع ساحل را نیز در آنالیز پایداری در نظر گرفته است. در مدل داربی و تورن (اصلاح شده) نیز همانند مدل اولیه، مطابق تئوری تیلور (Taylor, 1948) و با استفاده از روش تکرار نیوتن- رافسون، مقدار زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی ساحل محاسبه می‌شود. امیری تکلدانی (Amiri-Tokaldany, 2002) با توجه به شکل شمارهٔ ۱ و با در نظر گرفتن عمق ترک کششی معادل با عمق ترک کششی قبلی، رابطهٔ زیر را برای محاسبهٔ زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی در ساحل پیشنهاد کرده است:

$$\beta = tan^{-1}\left(\frac{H_2}{BW + H_3 / tan\, a}\right) \qquad (٦)$$

در رابطهٔ فوق، BW = عرض بلوک؛ و پارامترهای H_1، H_2 و H_3 در شکل شمارهٔ ۱ تعریف شده‌اند.



شکل شمارهٔ ۱- معرفی پارامترهای به کار رفته در محاسبهٔ زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی با استفاده از روش امیری تکلدانی (Amiri-Tokaldany, 2002)

شایان ذکر است که اکثر آنالیزهای ارائه شده جهت بررسی گسیختگی ساحل رودخانه با و بدون حضور ترک کششی، در زمینه‌های فنی و مفهومی نقاط ضعفی دارند. به‌عنوان مثال، آنالیزهای پایداری سواحل تند با مصالح چسبنده و فرسایشی که در امتداد سطوح صفحه‌ای تخریب می‌شوند بر اساس تخمین نیروهای مقاوم و محرک موثر بر بلوک‌های در آستانهٔ گسیختگی با استفاده از یک شکل هندسی نسبتاً ساده و بدون شکستگی است. مثال‌هایی از این قبیل آنالیزها که بر اساس شکل‌های هندسی ساده طرح شده‌اند شامل روش لوهنس و هندی (Lohnes & Handy, 1968)، تورن و همکاران (۱۹۸۱)، هوآنگ (۱۹۸۳) و سایمون و همکاران (۱۹۹۱) است (Amiri-Tokaldani, 2002). این قبیل

www.SID.ir

Archive of SID

آنالیزها هنگامی که تحتٔ شرایط طبیعی به‌کار روند، بنا به دلایل زیر دارای محدودیت‌هایی می‌باشند (Darby & Thorne, 1994):

- پروفیل‌های سواحل با شکل هندسی ساده، برای مشخص کردن پروفیل طبیعی سواحل رودخانهٔ فرسایشی به‌خصوص در هنگام ایجاد ترک کشتی، مناسب نمی‌باشند.
- صفحهٔ گسیختگی منحصراً به عبور از پاشنهٔ ساحل محدود شده است. مشاهدات صحرایی وقوع این حالت را گاهی غیرواقع بینانه نشان می‌دهد.
- از تأثیرات فشارهای آب منفذی و فشار هیدرواستاتیک آب موجود در آبراهه معمولاً صرف‌نظر و یا با در نظر گرفتن یک ترم ساده نسبت فشار منفذی مشخص می‌شود.
- کاربرد آنالیز گسیختگی صفحه‌ای، به سواحل بسیار تند محدود است.

برخی از محدودیت‌های فوق به تنهایی یا همراه با هم در برخی از مدل‌ها نظیر مدل‌های داربی و تورن (Darby & Thorne, 1996) و داربی و تورن (اصلاح شده) که در سال‌های اخیر ارائه شده‌اند برطرف شده است. اما یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های روش‌های مزبور، ناتوانی آنها در تعیین عمق ترک کششی بحرانی است. نکته جالب در این است که این مدل‌ها قادر به آنالیز پایداری ساحل بدون ورود مقدار عمق ترک کششی نیستند. از طرف دیگر، کاربرد عمق ترک کششی مربوط به گسیختگی قبلی برای آنالیز پایداری با توجه به شرایط موجود یا آتی ساحل غیرمنطقی است. زیرا میزان توسعهٔ عمق ترک بسته به جنس مصالح، شرایط رطوبتی خاک، و نیروهای مختلف مؤثر بر آستانهٔ لغزش در هر زمان تغییر می‌کند.

در این تحقیق، اثر ترک کششی در تخمین پایداری سواحل رودخانه با استفاده از مدل جامع آنالیز پایداری ساحل رودخانه (EMSAR[1]) و اطلاعات جمع‌آوری شده از رودخانهٔ می‌سی‌سی‌پی آمریکا بررسی شده و ضمن مقایسهٔ توانایی روش‌های مختلف، روش جدیدی برای محاسبهٔ موقعیت و عمق ترک کششی معرفی شده است. علاوه بر این، به‌منظور بررسی وجود رابطه‌ای بین خصوصیات مصالح تشکیل دهندهٔ سواحل رودخانه‌ها و پتانسیل ایجاد ترک کششی در این سواحل، از برخی قسمت‌های سواحل رودخانه‌های کرج، کردان، روفایه، کارون، کرخه، و کرخه نور، بازدید و از مصالح تشکیل دهندهٔ ساحل نمونه‌برداری، و مشخصات هندسی ساحل برداشت شده است.

- معرفی مدل جامع آنالیز پایداری ساحل رودخانه

مدل جدید، امکان آنالیز کردن پایداری ساحل را با توجه به سه نوع گسیختگی عمده که در سواحل رودخانه‌ها رخ می‌دهد فراهم می‌کند. این گسیختگی‌ها شامل گسیختگی صفحه‌ای، دایره‌ای، و طاقی شکل‌اند که به‌منظور محاسبهٔ پایداری ساحل در مقابل هریک از آنها، در مدل جامع آنالیز پایداری ساحل رودخانه (EMSAR) آنالیزهای پایداری جداگانه‌ای ارائه شده است. این مدل قابلیت محاسبهٔ زاویهٔ گسیختگی ساحل را با استفاده از روش‌های ساده‌ای همچون روش لوهنس و هندی (Lohnes & Handy, 1968)، عثمان و تورن

1- Extensive Model of Stability Analysis of Riverbank

www.SID.ir

Archive of SID

(Osman & Thorne, 1988) و امیری تکلدانی (Amiri-Tokaldany, 2002) داراست، مدل حاضر همچنین امکان محاسبهٔ زاویه گسیختگی ساحل را با استفاده از روش داربی و تورن (اصلاح شده) در حالت حضور کلیه نیروهای مؤثر در سطح لغزش نیز دارد. در این زمینه حالات مختلف نحوهٔ قرارگیری سطح آب زیرزمینی و سطح آب رودخانه با توجه به شکل هندسی ساحل جهت تعیین نیروی فشار آب منفذی مثبت و نیروی فشار هیدرواستاتیک آب رودخانه درنظر گرفته می‌شود و در هر حالت با استفاده از فرمول مربوطه، نیروهای بالابرنده و نیروی هیدرواستاتیک ناشی از آب رودخانه محاسبه می‌شوند. برخلاف مدل‌های پیشین که به منظور آنسالیز کردن پایداری نیازمند تعیین یکی از پارامترهای هندسی بلوک گسیختگی (زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی یا عمق ترک کششی) هستند، مدل حاضر قابلیت آنالیز کردن پایداری با متغیر در نظر گرفتن مقدار عمق ترک کششی در کل ضخامت ساحل را داراست و در نهایت بحرانی‌ترین شرایط را مشخص می‌کند (Samadi, 2005).

در مدل توسعه یافته در این تحقیق، سه قابلیت مختلف برای تعیین عمق ترک کششی لحاظ شده است. در این مدل، در صورت وجود اطلاعات محلی مشخص از مقدار عمق ترک کششی، از آن به‌عنوان یک پارامتر ورودی استفاده می‌شود. اما در صورتی که عمق ترک مشخص نباشد، مدل حداکثر عمق ترک کششی را با استفاده از رابطهٔ شمارهٔ ۱ و یا نظریهٔ تورن و ابت (Thorne & Abt, 1993) که آن را به نصف ارتفاع ساحل محدود می‌کند، مشخص نموده سپس با شروع از رقوم سطح طبیعی دشت سیلابی و درنظر گرفتن فواصل پنج سانتی‌متری تا رسیدن به حداکثر عمق ترک، آنالیز پایداری را اجرا و نتایج را برای هر حالت ارائه می‌کند. مدل در نهایت کمترین ضریب اطمینان پایداری محاسبه شده را مشخص و بحرانی‌ترین عمق ترک کششی و مشخصات بلوک گسیختگی مربوطه را تعیین می‌کند. در این راستا روش‌های داربی و تورن (Darby & Thorne, 1996) و امیری تکلدانی (Amiri-Tokaldany, 2002) در این تحقیق مورد تجدیدنظر قرار گرفته‌اند. روش‌های داربی و تورن (اصلاح شده) و امیری تکلدانی (اصلاح شده) نیازمند ورود مقدار عمق ترک کششی برای آنالیز کردن پایداری نیست و ضمن تعیین عمق ترک کششی بحرانی، مشخصات هندسی بلوک گسیختگی را نیز محاسبه می‌کنند. نتایج آنالیزهای مختلف صورت گرفته در این تحقیق در بخش نتایج خروجی مدل ارائه شده است.

- نتایج خروجی مدل

قابلیت آنالیز کردن پایداری سواحل با استفاده از مدل‌های مختلف جهت پیش‌بینی شکل هندسی بلوک گسیختگی با استفاده از مدل جدید برای ۵۱ داده جمع‌آوری شده از رودخانهٔ می‌سی‌سی‌پی آمریکا (آبراهه‌های هوتوفیا، لانگ و گودوین) در جدول شمارهٔ ۱ نشان داده شده است. در این جدول، Me و Ad به ترتیب نمایندهٔ ستوسط نسبت اختلاف‌ها و انحراف مطلق نسبت اختلاف‌هاست و با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$Me = 1/n \sum X_p / X_o \qquad (۷)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$Ad = 1/n\sum\left|\left(\left(X_p / X_o\right) - Me\right)\right| \quad (۸)$$

در این دو رابطه، X_p = مقدار پارامتر پیش‌بینی شده؛ X_o = مقدار پارامتر مشاهده شده؛ و n تعداد نقاط اطلاعات است.

جدول شمارهٔ ۱- نتایج آنالیزهای پایداری ساحل مورد آزمون در پیش‌بینی شکل هندسی بلوک گسیختگی

مدل	زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی		عرض بلوک گسیختگی		حجم بلوک گسیختگی	
	Me	Ad	Me	Ad	Me	Ad
لوهنس - هندی	۱/۰۳۸	۰/۳۳۶	۱/۵٤۰*	۰/٦۹٤*	۱/۲٤۸*	۰/٦۹۲*
عثمان- تورن	۱۰۰۱۹*	۰/۳۳۲*	۱/٦٤٤	۰/۷۱٦	۱۰۳۰٦	۰/۷۱٦
داربی- تورن (اصلاح شده)	۱۰۰۲۷	۰/۳٤۰	۱/٦٤۰	۰/٦۹۹	۱۰۳۰۵	۰/۷۱۷
امبری تکلدانی	۱/۰۷۱	۰/٤۰۳	۳/۷۳٦	۲/۱۷٤	۱/۷٦۲	۰/۹۲۷
امبری تکلدانی (اصلاح شده)	۱/۰٦۳	۰ ٤۰٤	۱/۸٤٦	۰/۷۸۵	۱/٤۳۷	۰/۷۲۹

* مقادیر بهینه

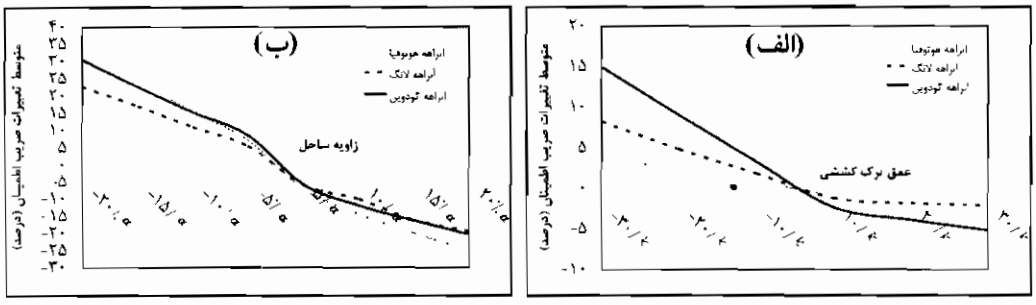
گفتنی است که مطابقت کامل بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده به ازای $Me = 1$ و $Ad = 0$ حاصل می‌شود. به عبارت ساده‌تر، در روش مورد نظر مقدار تابع Me بزرگتر از یک، مبین بیش از حد پیش‌بینی شدن و کمتر از یک مبین کمتر از حد پیش‌بینی شدن مقادیر است. مقادیر تابع Ad نیز هرچه از صفر بیشتر باشد، مبین پراکندگی بیشتر داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل و داده‌های مشاهده شده صحرایی است. با توجه به این مطالب، مقادیر بهینه در جدول شمارهٔ ۱ مشخص شده‌اند. همان‌طوری که در جدول شمارهٔ ۱ ملاحظه می‌شود، نتایج حاصل از پیش‌بینی زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی با روش عثمان و تورن (Osman & Thorne, 1988) نسبت به سایر روش‌ها مطابقت بیشتری با مقادیر پیش‌بینی شده نشان می‌دهد. اما روش لوهنس و هندی (Lohnes & Handy, 1968) مقادیر عرض و حجم بلوک گسیختگی را بهتر پیش‌بینی می‌کند. با توجه به محدود بودن اطلاعات موجود و دسترسی نداشتن به اطلاعات سطح آب سطحی و زیرزمینی، امکان مقایسهٔ دقیق‌تر روش‌ها وجود ندارد. اما مشخص است که روش‌های ساده و مقدماتی لوهنس - هندی و عثمان- تورن توانایی در نظر گرفتن نیروهای ناشی از سطح آب سطحی و زیرزمینی را در آنالیز پایداری ساحل ندارند و در صورت وجود اطلاعات کامل‌تر نخواهند توانست مشخصات گسیختگی واقعی را تعیین کنند. لذا مقایسهٔ توانایی واقعی روش‌ها منوط به جمع‌آوری بانک اطلاعاتی کاملی از چندین مقطع از سواحل تخریب یافته است.

به منظور تعیین میزان حساسیت ضریب اطمینان در مقابل تغییرات پارامترهای مختلف، عکس‌العمل مقدار ضریب اطمینان پایداری ساحل نسبت به

www.SID.ir

Archive of SID

پارامترهای متغیر چون مشخصات هندسی ساحل (عمق ترک کششی و زاویهٔ ساحل) و مشخصات فنی مصالح تشکیل دهندهٔ ساحل (چسبندگی، زاویهٔ اصطکاک درونی و وزن مخصوص مصالح) با استفاده از روش داربی و تورن (Darby & Thorne, 1996) ارزیابی شد و بدین ترتیب نقش عوامل مختلفی همچون خطای اندازه‌گیری یا خطای ناشی از در نظر گرفتن مقادیر متوسط مشخصات فنی مصالح ساحل در مقدار ضریب اطمینان به دست آمده از آنالیز پایداری ساحل مشخص گردید.



شکل شمارهٔ ۲- میزان حساسیت ضریب اطمینان پایداری ساحل در مقابل تغییرات مشخصات هندسی ساحل: (الف) عمق ترک کششی، (ب) زاویه ساحل

در شکل شمارهٔ ۲ (الف)، نتایج حساسیت مقادیر ضریب اطمینان متوسط پایداری ساحل در برابر لغزش نسبت به تغییرات مقدار عمق ترک کششی در سه آبراهه هوتوفیا، لانگ، و گودوین نشان داده شده است. مطابق شکل شمارهٔ ۲ (الف) حداکثر حساسیت در آبراههٔ گودوین بوده به طوری که با افزایش و کاهش عمق ترک کششی به میزان ۳۰ درصد، ضریب اطمینان پایداری ساحل در برابر لغزش به ترتیب معادل ۵- و ۱۵+ درصد تغییر یافته است. در آبراهه‌های دیگر حساسیت ضریب اطمینان نسبت به تغییرات عمق ترک کششی کمتر از مقادیر فوق است. بنابراین در صورتی‌که به دلیل عدم امکان اندازه‌گیری دقیق عمق ترک کششی، مقدار عمق ترک کششی کمتر از حد واقعی تخمین زده شود، اشکال چندانی در آنالیز پایداری ساحل ایجاد نمی‌کند. زیرا اثر این اختلاف در تعیین مقدار ضریب اطمینان قابل توجه نیست. همچنین مطابق شکل شمارهٔ ۲ (ب)، نتایج حساسیت مقادیر ضریب اطمینان متوسط پایداری ساحل در برابر لغزش نسبت به تغییرات مقدار زاویهٔ ساحل در سه آبراههٔ مورد نظر نشان داده شده که نشان‌دهنده تأثیر شدیدتر تغییر زاویهٔ ساحل بر میزان کاهش یا افزایش ضریب اطمینان متوسط در مقابل تأثیر تغییرات عمق ترک کششی است. مطابق شکل شمارهٔ ۲ (ب)، حداکثر حساسیت در آبراهه هوتوفیاست به طوری که با افزایش و کاهش زاویهٔ ساحل به میزان ۲۰ درصد، مقدار ضریب اطمینان پایداری ساحل در برابر لغزش به‌ترتیب معادل

www.SID.ir

Archive of SID

۲۵- و ۳۵+ درصد تغییر یافته است. در آبراهه‌های دیگر حساسیت ضریب اطمینان نسبت به تغییرات زاویهٔ ساحل اندکی کمتر از مقادیر فوق است. بنابراین در صورتی‌که به دلیل شیب تند سواحل، اندازه‌گیری دقیق زاویهٔ ساحل میسر نباشد و مقدار زاویهٔ ساحل کمتر از حد واقعی تخمین زده شود، اثر این اختلاف در تعیین مقدار ضریب اطمینان قابل توجه است و نتیجه آنالیز پایداری ساحل اختلاف قابل توجهی با مقدار واقعی نشان می‌دهد.

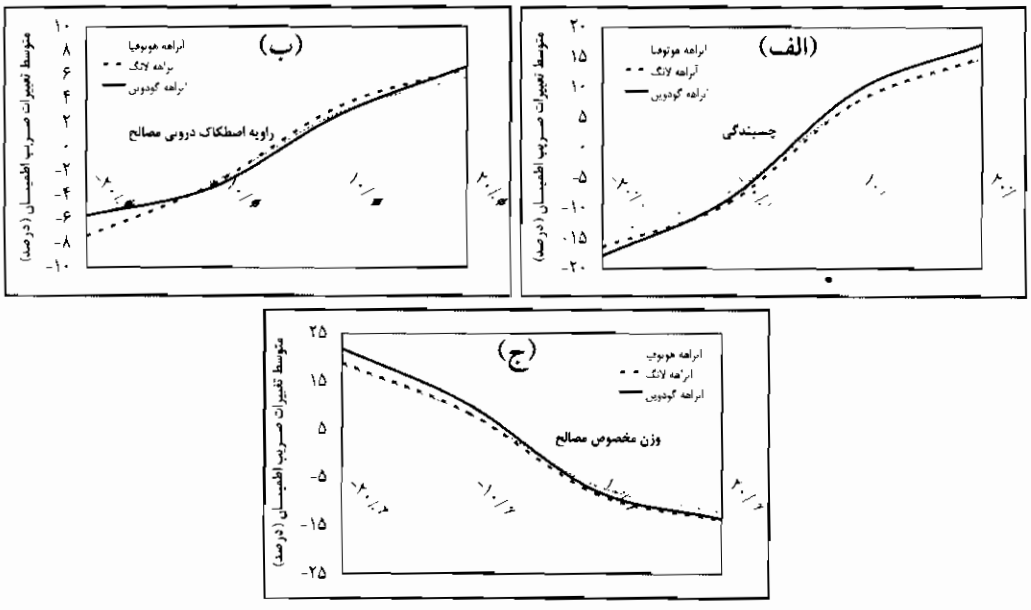
در شکل شمارهٔ ۳ (الف)، نیز نتایج حساسیت مقادیر ضریب اطمینان متوسط پایداری ساحل در برابر لغزش نسبت به تغییرات مقدار چسبندگی مصالح در سه آبراهه هوتوفیا، لانگ، و گودوین نشان داده شده است. مطابق این شکل، حداکثر حساسیت در آبراهه گودوین است به طوری که با افزایش و کاهش مقدار چسبندگی به میزان ۲۰ درصد، مقدار ضریب اطمینان پایداری ساحل در برابر لغزش به ترتیب ۱۷+ و ۱۸- درصد تغییر یافته است. در آبراهه‌های دیگر، حساسیت ضریب اطمینان نسبت به تغییرات چسبندگی اندکی کمتر از مقادیر فوق است. مشابه پارامترهای دیگر، در صورتی که به دلایل: ناممکن بودن اندازه‌گیری دقیق صحرایی مقدار چسبندگی مصالح تشکیل دهندهٔ سواحل در معرض تخریب، استفاده از مقدار متوسط چسبندگی در یک بازه از رودخانه، یا وجود خطا در تعیین این پارامتر در آزمایشگاه، مقدار چسبندگی بیشتر از حد واقعی تخمین زده شود، اثر این اختلاف در تعیین مقدار ضریب اطمینان قابل‌توجه است و نتیجهٔ آنالیز پایداری ساحل اختلاف قابل توجهی با مقدار واقعی نشان می‌دهد. از طرف دیگر، در شکل شماره ۳ (ب) تأثیر ناچیز تغییرات مقادیر زاویهٔ اصطکاک درونی مصالح ساحل بر میزان تغییر مقدار ضریب اطمینان پایداری ساحل در مقابل لغزش نشان داده شده است. مطابق این شکل، میزان حساسیت در آبراهه‌های مختلف تقریباً یکسان است به طوری که با افزایش و کاهش زاویهٔ اصطکاک درونی مصالح به میزان ۲۰ درصد، ضریب اطمینان پایداری ساحل در برابر لغزش به ترتیب در حدود ۷+ و ۷- درصد تغییر یافته است. بنابراین، در صورتی که به دلیل ناممکن بودن اندازه‌گیری دقیق زاویهٔ اصطکاک درونی مصالح، مقدار زاویهٔ اصطکاک بیشتر از حد واقعی تخمین زده شود، اشکال چندانی در آنالیز پایداری ساحل ایجاد نمی‌کند. زیرا اثر این اختلاف در تعیین مقدار ضریب اطمینان قابل‌توجه نیست. در شکل شمارهٔ ۳ (ج) نیز نتایج حساسیت مقادیر ضریب اطمینان متوسط پایداری ساحل در برابر لغزش نسبت به تغییرات مقدار وزن مخصوص مصالح در سه آبراهه مورد نظر نشان داده شده است. مطابق شکل شمارهٔ ۳ (ج)، میزان حساسیت در آبراهه‌های مختلف تقریباً یکسان است به طوری که با افزایش و کاهش وزن مخصوص مصالح به میزان ۲۰ درصد، ضریب اطمینان پایداری ساحل در برابر لغزش به ترتیب در حدود ۱٤- و ۲۲+ درصد تغییر یافته است. در این مورد نیز در صورتی که به دلیل ناممکن بودن اندازه‌گیری دقیق صحرایی مقدار وزن مخصوص مصالح تشکیل دهندهٔ سواحل در معرض تخریب یا به دلیل استفاده از مقدار متوسط وزن مخصوص مصالح در یک بازه از رودخانه، مقدار وزن

www.SID.ir

Archive of SID

مخصوص کمتر از حد واقعی تخمین زده شود، اثر این اختلاف در تعیین مقدار ضریب اطمینان قابل‌توجه است و نتیجهٔ آنالیز پایداری ساحل اختلاف قابل توجهی با مقدار واقعی نشان می‌دهد.

شایان ذکر است که در صورت تخمین مقادیر عمق ترک کششی، زاویهٔ ساحل، و وزن مخصوص مصالح ساحل به میزان بیشتر از مقدار واقعی و تخمین مقادیر چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک درونی مصالح ساحل به میزان کمتر از مقدار واقعی آنها، ضریب اطمینان پایداری در شرایط واقعی به طور یقین بیش از ضریب اطمینان[1] محاسبه شده براساس مقادیر تخمینی خواهد بود.



شکل شمارهٔ ۳- میزان حساسیت ضریب اطمینان پایداری ساحل در مقابل تغییرات مشخصات فنی ساحل : (الف) چسبندگی، (ب) زاویهٔ اصطکاک درونی مصالح، (ج) وزن مخصوص مصالح

به منظور تعیین میزان حساسیت مقادیر پارامترهای مشخص کننده شکل هندسی بلوک گسیختگی (زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی، عرض و حجم بلوک گسیختگی) در مقابل تغییرات پارامترهای مختلف، با استفاده از روش آنالیز پایداری داربی و تورن (Darby & Thorne, 1996) عکس‌العمل مقادیر پیش‌بینی شده پارامترهای شکل هندسی بلوک گسیختگی نسبت به پارامترهای متغیر نظیر مشخصات هندسی ساحل (عمق ترک کششی و زاویهٔ ساحل) و مشخصات فنی مصالح تشکیل دهنده ساحل (چسبندگی، زاویهٔ اصطکاک درونی، و وزن مخصوص مصالح) ارزیابی و خلاصهٔ نتایج در جدول شمارهٔ ۲ ارائه شده است. مطابق جدول شمارهٔ ۲، پارامترهای عمق ترک کششی، زاویهٔ ساحل و زاویهٔ اصطکاک درونی مصالح در تعیین مشخصات هندسی بلوک گسیختگی حائز اهمیت‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس ارزیابی‌ها، پارامترهای جسبندگی و وزن مخصوص مصالح تشکیل دهندهٔ ساحل در تعیین مشخصات هندسی بلوک گسیختگی بی‌تأثیرند. مطابق جدول شمارهٔ ۲، زاویهٔ ساحل مؤثرترین پارامتر در تعیین شکل هندسی بلوک گسیخته شده از ساحل است. عمق ترک کششی تنها در تعیین عرض بلوک گسیختگی مؤثر است و در تعیین مقادیر زاویهٔ صفحه و حجم بلوک گسیختگی چندان تأثیرگذار نیست. با توجه به تأثیر بسیار ناچیز عمق ترک کششی در محاسبهٔ ضریب اطمینان به عنوان فاکتور اصلی و تعیین کنندهٔ پایداری ساحل، نتیجه می‌شود که حتی در صورت وجود ۳۰ درصد خطا در تخمین مقدار عمق ترک کششی، ضریب اطمینان پایداری ساحل چندان تغییری نخواهد کرد.

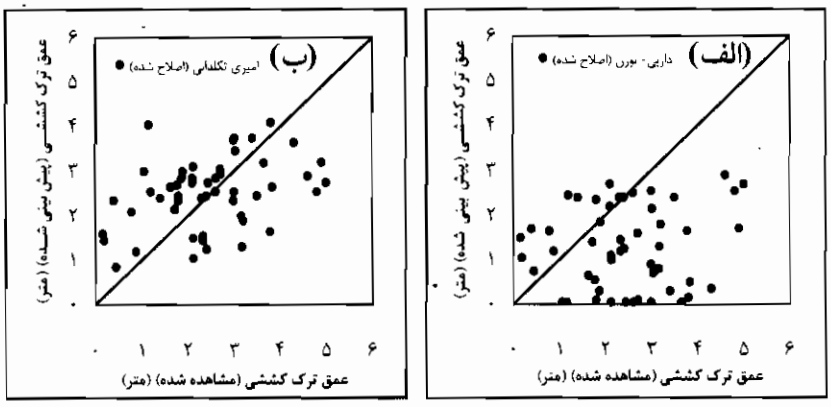
جدول شمارهٔ ۲- میزان حساسیت پارامترهای مشخصات هندسی بلوک گسیختگی در مقابل تغییرات سایر پارامترها (برحسب درصد)

پارامتر موردنظر	محدودهٔ تغییرات پارامترهای مختلف (درصد)					
	درصد تغییرات عمق ترک کششی		درصد تغییرات زاویهٔ ساحل		درصد تغییرات زاویهٔ اصطکاک درونی مصالح	
	+۳۰	-۳۰	+۲۰	-۲۰	+۲۰	-۲۰
زاویهٔ صفحه گسیختگی	۱	+۲	+۱۸	-۱۷	+٤	-٤
عرض بلوک گسیختگی	۱۹	-٤۳	+٤۳	۳۰	۱٤	+۱۳
حجم بلوک گسیختگی	-٦	+۹	+۲۰	-۱۵	۰۱۰	+۱۰

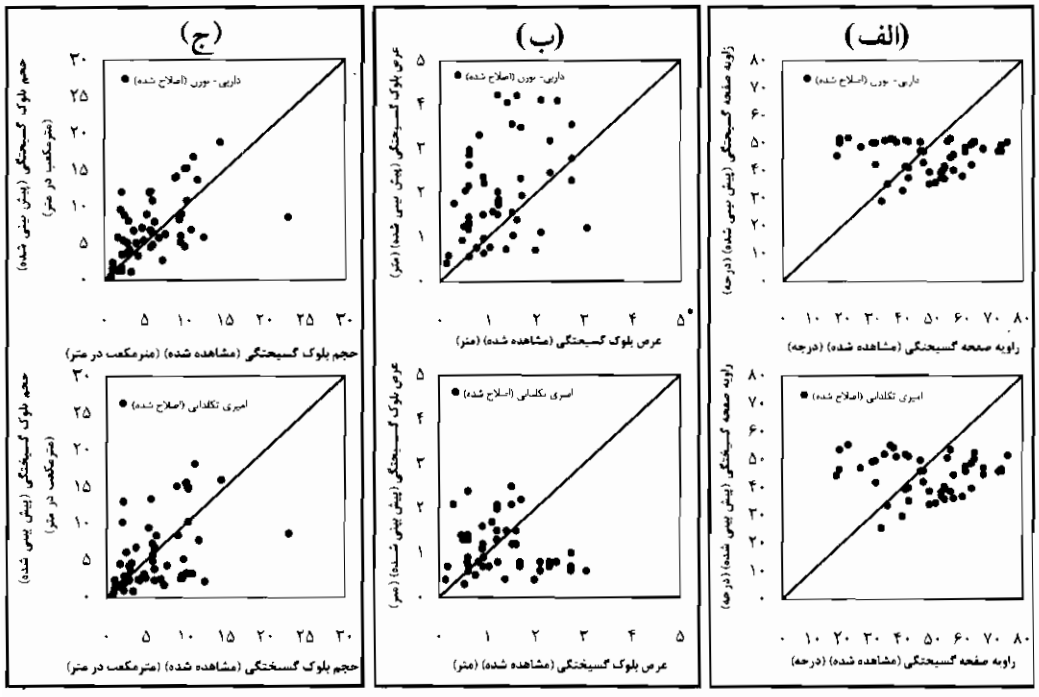
در این تحقیق همچنین به منظور محاسبهٔ عمق ترک کششی بحرانی و شکل هندسی بلوک گسیختگی، از مدل‌های ارائه شده توسط امیری تکلدانی (Amiri-Tokaldany, 2002) و داربی و نورن (Darby & Thorne, 1996) برای ۵۱ داده جمع‌آوری شده از رودخانه می‌سی‌سی‌پی در ایالات متحده آمریکا استفاده شد. نتایج عمق ترک کششی بحرانی محاسبه شده با مدل جامع ایالبز باداری ساحل رودخانه که در برگیرندهٔ مدل‌های اصلاح شدهٔ امیری تکلدانی و داربی و نورن نیز هست، در شکل شمارهٔ ٤ نشان داده شده است. مطابق شکل شمارهٔ ٤، روش داربی و نورن (اصلاح شده) عمق ترک کششی را بسیار کمتر از عمق ترک کششی مشاهده شده تخمین می‌زند، اما روش امیری تکلدانی (اصلاح شده) نتایج نسبتاً بهتری ارائه می‌کند و نتایج تقریباً در دو طرف خط تطابق کامل و به موازات آن هستند. البته نتایج هر دو روش بسیار پراکنده‌اند که این خطا می‌تواند ناشی از محدودیت اطلاعات موجود باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل شمارهٔ ٤- مقایسهٔ مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده عمق ترک کششی بحرانی با روش‌های: (الف) داریی و تورن (اصلاح شده)، (ب) امیری تکلدانی (اصلاح شده)



شکل شمارهٔ ۵- مقایسهٔ مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده مشخصات هندسی بلوک گسیختگی: (الف) زاویهٔ صفحه گسیختگی، (ب) عرض بلوک گسیختگی، (ج) حجم بلوک گسیختگی

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج مقادیر بحرانی زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی، عرض و حجم بلوک گسیختگی نیز با استفاده از هر دو آنالیز پایداری اشاره شده، در شکل شمارهٔ ۵ نشان داده شده است. مطابق شکل شمارهٔ ۵ (ب)، روش داربی و تورن (اصلاح شده) عرض بلوک گسیختگی را بسیار بیش از حد تخمین می‌زند. همچنین مقادیر توابع Me و Ad برای نتایج عرض بلوک گسیختگی حاصل از روش امیری تکلدانی (اصلاح شده) به ترتیب ۱/۲۸۸ و ۰/۷۸٤ است که در مقایسه با مقادیر بهینهٔ جدول شمارهٔ ۱ مناسب‌تر هستند. در واقع میزان پراکندگی داده‌ها (۰/۷۸٤) کمی بیش از مقدار بهینه (۰/٦۹٤) در جدول شمارهٔ ۱ است. با این همه، میزان تخمین بیش از حد عرض بلوک گسیختگی (۱/۲۸۸) تا حدود بسیاری نسبت به مقدار بهینه (۱/٥٤۰) در جدول شمارهٔ ۱ کاهش یافته است. علاوه بر این، مقدار توابع Me و Ad برای مقادیر پیش‌بینی شده حجم بلوک گسیختگی در روش امیری تکلدانی (اصلاح شده) به ترتیب ۱/۱٦۹ و ۰/۷۰۱ است که در مقایسه با مقادیر بهینه جدول شمارهٔ ۱ از میزان تخمین بیش از حد کاسته شده است. مطابق شکل شمارهٔ ۵ (ج)، روش داربی و تورن (اصلاح شده) مقدار حجم بلوک گسیختگی را حتی از مقادیر روش لوهنس و هندی (Lohnes & Handy, 1968) در حالت معین بودن عمق ترک کششی، بیشتر تخمین می‌زند. در ضمن مطابق نتایج شکل شمارهٔ ۵ (الف)، روش‌های داربی و تورن (اصلاح شده) و امیری تکلدانی (اصلاح شده) مقادیر زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی را نسبتاً یکسان تخمین می‌زنند. تفاوت نتایج حاصل از دو روش فوق در حالت متغیر بودن عمق ترک کششی می‌تواند ناشی از روند متفاوت به کار رفته در هر یک از روش‌ها جهت آنالیزکردن پایداری باشد. در روش امیری تکلدانی (اصلاح شده) همانند اصول به کار رفته در روش‌های قطعات، حالات مختلف هندسهٔ بلوک گسیختگی مورد آزمون قرار گرفته و در نهایت کمترین ضریب اطمینان حاصل، تعیین کنندهٔ شکل هندسی گسیختگی بحرانی ساحل است. اما در روش داربی و تورن (اصلاح شده) به ازای مقادیر مختلف عمق ترک کششی در حال توسعه، رابطهٔ نسبت نیروهای مقاوم به محرک مشخص شده و مطابق تئوری تیلور (Taylor, 1948) با محاسبهٔ زاویه صفحه‌ای که چسبندگی در آن حداکثر باشد، شکل هندسی بلوک گسیختگی و ضریب اطمینان پایداری ساحل مشخص می‌شود. مطابق نتایج این روش، با توسعهٔ عمق ترک کششی از مقدار زاویهٔ صفحهٔ گسیختگی و عرض بلوک گسیختگی کاسته می‌شود و در مقابل حجم بلوک گسیختگی افزایش می‌یابد. در نتیجهٔ افزایش حجم بلوک، مقادیر ضریب اطمینان پایداری ساحل نیز روند نزولی طی می‌کند.

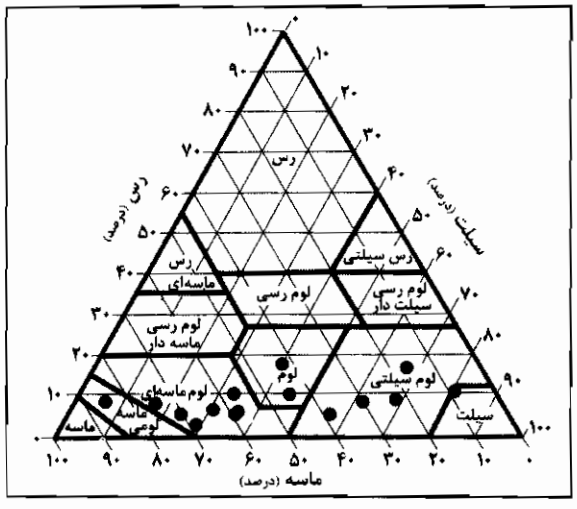
- بررسی وجود رابطه میان مشخصات فنی مصالح تشکیل دهندهٔ ساحل و وقوع ترک کششی

در بخش دیگری از مطالعات، سواحل برخی از قسمت‌های رودخانه‌های داخل کشور مانند کرج،

www.SID.ir

Archive of SID

کردان، روفایه، کارون، کرخه، و کرخه‌نور بازدید و مشخصات فنی و هندسی سواحل در معرض تخریب بر اثر توسعهٔ ترک کششی ارزیابی شد. طی مشاهدات صحرایی، بافت خاک سواحل موردنظر از طریق نمونه‌برداری از مصالح ساحل و آنالیز آنها در آزمایشگاه مشخص شده است. در شکل شمارهٔ ٦، توزیع بافت خاک سواحل رودخانه‌های دربردارنده پتانسیل توسعهٔ ترک کششی روی مثلث بافت خاک کتاورزی ترسیم شده است. این طبقه‌بندی مثلثی را که مشهورترین نوع طبقه‌بندی برحسب بافت ذرات خاک است سازمان خاک‌های آمریکا ارائه داده است. مطابق شکل شمارهٔ ٦، کلیهٔ نمونه‌ها در محل قاعدهٔ مثلث تجمع یافته‌اند و درنتیجه توسعهٔ ترک کششی در خاک‌های ریزدانه که دربردارنده ۱۰-۲۰ درصد وزنی رس هستند، در صورت تغییر شرایط رطوبتی خاک محتمل خواهد بود. از این رو برخلاف خاک‌های با چسبندگی بالا (درصد بالای رس) که به تغییرات شرایط رطوبتی خاک حساس نیستند، خاک‌های لومی، لوم سیلتی، و لوم ماسه‌ای به تغییرات شرایط رطوبتی خاک بسیار حساس‌اند و بلافاصله در معرض ایجاد ترک کششی قرار می‌گیرند.



شکل شمارهٔ ٦- توزیع بافت خاک‌های تخریب یافته در رودخانه‌های مورد بررسی در داخل کشور

نتیجه‌گیری

در مطالعات مربوط به پایداری سواحل رودخانه، موقعیت و عمق ترک کششی از جمله پارامترهای موجود در تعریف شکل هندسی سواحل در معرض تخریب هستند. محاسبهٔ پایداری مساحل رودخانه به کمک روش‌های موجود، نیازمند مشخص کردن یکی از پارامترهای هندسی بلوک در معرض تخریب (زاویهٔ ساحل، موقعیت ترک کششی، یا عمق ترک کششی) است. در این تحقیق، ضمن رفع این محدودیت، این امکان فراهم شده

www.SID.ir

Archive of SID

است که عمق ترک کنسی متغیر در نظر گرفته شده و نتایج روش‌های مختلف با کاربرد مدل توسعهٔ یافته محققان (EMSAR) مقایسه شود. علاوه بر این، تأثیرات عمق و موقعیت ترک کششی در پایداری ساحل رودخانه با استفاده از داده‌های رودخانه می‌سی‌سی‌پی بررسی و نتایجی به شرح زیر حاصل شده است:

- مؤثرترین پارامترها در آنالیز پایداری به‌ترتیب اهمیت، زاویهٔ ساحل، چسبندگی و وزن مخصوص مصالح ساحل هستند.
- نتایج نشان‌دهندهٔ تأثیر ناچیز عمق توسعهٔ ترک کششی در تعیین ضریب ایمنی پایداری ساحل رودخانه است. اگرچه عمق ترک کنسی در تعیین عرض بلوک تخریب‌یافته بسیار مؤثر است.
- با توجه به اطلاعات محدود موجود از رودخانه می‌سی‌سی‌پی، روش‌های عثمان و تورن (Osman & Thorne, 1988) و لوهنس و هندی (Lohnes & Handy, 1968) در محاسبهٔ هندسه بلوک گسیختگی جواب مناسب‌تری می‌دهند.

همچنین مطابق مطالعات صحرایی در برخی از رودخانه‌های داخل کشور، خاک‌های با چسبندگی پایین که عمدتاً از ذرات ماسه و سیلت تشکیل شده‌اند و حداکثر شامل ۱۰-۲۰ درصد وزنی رس هستند، معمولاً با کاهش رطوبت به میزان کمتر از حد خمیری خاک در معرض توسعه ترک کششی قرار می‌گیرند. اصولاً این خاک‌ها به دلیل نداشتن خاصیت پلاستیسیتهٔ بالا، با تغییر رطوبت خاک در هنگام تغییر شکل یافتن از هم گسیخته می‌شوند. از این رو با کاهش جزئی رطوبت خاک ساحل و با افزایش نیروی کششی بین ذرات خاک، ترک کششی در بین ذرات خاک ایجاد می‌شود. اما خاک‌های با چسبندگی بالا به دلیل خاصیت پلاستیسیتهٔ بالای ذرات چسبنده رس، به تغییرات شرایط رطوبتی خاک حساس نیستند و در معرض توسعهٔ ترک کششی قرار نمی‌گیرند. در خاک‌های درشت دانه نیز به دلیل فقدان خاصیت پلاستیسیتهٔ بین ذرات خاک، امکان توسعهٔ ترک کششی وجود ندارد.

همانند مدل‌های آنالیز پایداری سواحل موجود، میان مقادیر محاسبه شده با مدل جدید و مقادیر مشاهده شده، مقداری اختلاف وجود دارد. نظر به شیب تند سواحل رودخانه‌ها و ناممکن بودن پیاده‌روی روی شیب ساحل به منظور برداشت مشخصات هندسی، خطای ایجاد شده در آنالیز پایداری می‌تواند ناشی از خطای موجود در مقدار زاویهٔ ساحل باشد. همچنین با توجه به اینکه در اطلاعات جمع‌آوری شده از رودخانه می‌سی‌سی‌پی آمریکا، مشخصات فنی خاک به صورت متوسط ارائه شده است، خطای ایجاد شده در آنالیز پایداری می‌تواند ناشی از خطای موجود در تعیین مشخصات فنی برای سواحل مختلف باشد.

قدردانی

نگارندگان لازم می‌دانند که از قطب علمی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران که تأمین هزینه‌های مالی این طرح تحقیقاتی را بر عهده داشته، قدردانی کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

1-Ahmadian-Yazdi, M. J. 2001. An investigation role of cover in control bank erosion of Tajan-Harierrood meandering stream. M. Sc. Thesis. College of Range and Watershed Management. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. IRAN.

2-Amiri-Tokaldany, E. 2002. A model of bank erosion and equilibrium bed topography in river bends. Ph. D. Thesis. Dept. of Civil and Environmental Engineering. Univ. of Southampton. Southampton. UK.

3-Baker, R. 1981. Tensile strength, tension cracks, and stability of slopes. Soils and Foundations. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Eng. 21: 1-17.

4-Darby, S. E., and Thorne, C. R. 1994. Prediction of tension crack location and riverbank erosion hazards along destabilized channels. Earth Surface Processes and Landforms. 19(3): 233-245.

5-Darby, S. E. and Thorne, C. R. 1996. Development and testing of riverbank-stability analysis. J. Hydraulic Eng.. 122(8): 443-454.

6-Lohnes, R. A. and Handy, R. L. 1968. Slope angle in friable loess. The J. of Geology. 76(3): 247-258.

7-Osman, A. M. and Thorne, C. R. 1988. Riverbank stability analysis. I: Theory. J. Hydraulic Eng. 114(2): 134-150.

8-Samadi, A. 2005. Determination the location and depth of tension crack and their effects on riverbank stability. M. Sc. thesis. Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering. Univ. of Tehran. Tehran. IRAN.

9-Simon, A., Curini, A., Darby, S. E. and Langendoen, E. J. 1999. Streambank mechanics and the role of bank and near-bank processes in incised channels. In: S. E. Darby, and A. Simon. (Eds.) Incised River Channels: Processes, Forms, Engineering and Management, John Wiley & Sons, Ltd. Chichester. UK, 123-152.

10-Taylor, D. W. 1948. Fundamentals of soil mechanics. John Wiley & Sons, Inc., New York.

11-Thorne, C. R. 1982. Processes and mechanisms of river bank erosion. In: R. D. Hey, J. C. Bathurst and C. R. Thorne (Eds.). Gravel Bed Rivers, John Wiley & Sons Ltd., Chichester. UK, 227-271.

12-Thorne, C. R. and Abt, S. R. 1993. Analysis of riverbank instability due to toe scour and lateral erosion. Earth Surface Processes and Landforms. 18(9): 835-843.

www.SID.ir

Archive of SID

Effects of the Location and Depth of Tension Crack on River Bank Stability

E. Amiri-Tokaldany, A. Samadi and H. Rahimi

River bank erosion is one of the major sources of sediment production. Due to the effects on river characteristics, river bank erosion is an important aspect of floodplain development and water resources management. On studies related to river bank stability, among others, the location and depth of tension crack are two parameters defining the geometry of banks which are in situation of incipient failure. However, there are a few research in literacy on computing these parameters and their effects on bank stability. In this research, to introduce a method for computing the location and depth of tension crack, the banks of some rivers in Iran such as Karoon, Karkheh, Dez, Karaj, and Kordan were visited. The sensitivity of safety factor of river banks against planar failure over the variation of the above two parameters was investigated. In this regard 51 sites of Mississippi river, in USA, were analyzed with an Extensive Model of Stability Analysis for Riverbanks (EMSAR). On the basis of the results of bank stability analysis for available data, it was found that the bank angle, cohesion, and specific weight of bank materials, in importance order, were the most important parameters affecting bank stability and the amount of safety factor against bank failure. The results also showed that the depth of tension crack had small influence over the safety factor of bank stability. Therefore, in the case of 20% error on estimating the depth of tension crack and the bank angle, there was 4% and 25% error on the amount of corresponded safety factors. This demonstrated low sensitivity of safety factor over the variation of depth of tension crack but high sensitivity of safety factor over the variation of bank angle. On the basis of the field observations and particles existed in failed banks, it was found that there was a high probability of development of tension crack in fine soils containing 10-20 percent clay with changing soil water and there was no potential of failure in soils having high cohesion or in coarse soils.

Keywords: Extensive Model of Stability Analysis for Riverbank, Planar Failure, River Bank Stability, Tension Crack

www.SID.ir