

# اعتبارسنجی میدانی مدل بهبود یافته فرآیند پایه در تحلیل پایداری ساحل جریان با استفاده از نرم افزار CONCEPTS

مهدی مقسمی<sup>۱</sup>، محمود شفاعی بجستان<sup>۲</sup>،

۱. کارشناسی ارشد سازمان آب و برق استان خوزستان

۲. عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران

## چکیده

فرسایش ساحل جریان از جمله عوامل اصلی در فرسایش کلی در سواحل دچار فرسایش است. شناسایی فرآیندهای فرسایش و تعیین مفاهیم ریاضی آن در مدل های تغییرات عرضی از جمله مسایل دشوار در این زمینه است. وزارت کشاورزی، اداره تحقیقات کشاورزی، آزمایشگاه ملی رسوبات (NSL) مطالعات متعددی را برای تعیین مشخصات تاثیر فشار آب منفذ بر ابعاد شکست ساحل و مقاومت برشی و نقش پوشش گیاهی برمکش ماتریس، نفوذپذیری ساحل و مقاومت برشی انجام داده است. نتایج بدست آمده از این تحقیقات برای بهبود مدل تحولات درازمدت کانال توسط NSL بنام CONCEPTS به کار نیست. در این مقاله اجرای فرآیندهای فیزیکی فوق در شکست ساحل در سطوح شیب دار بررسی می شود و توانایی مدل شبیه سازی در فرآیندهای شکست ساحل نشان داده می شود.

**واژه های کلیدی:** "رسوب"، "سازه هیدرولیکی"، "شبیه سازی"، "شکست ساحل"، "فرسایش".

## مقدمه

کانال ها در طول زمان نسبت به تغییرات در آب و رسوبات تغییر می کنند. جریان به دو صورت تغییر می یابد: عمودی (افزایش ارتفاع و افتادگی) و افقی (فرسایش خط ساحل و پیشروی کناری آن). این تغییرات مورفولوژیکی ممکن است جداگانه یا با هم اتفاق بیفتد. تغییرات عرضی کانال بر اثر اتلاف عهده و فرآیندهای مرتبط یکی از مکانیزم های اصلی در واکنش کانال و اتلاف انرژی را در سواحل آبرفتی نشان می دهد. مواد رسوبی در مناطق غرب مرکزی ایالات متحده حدود ۸۰٪ رسوبات فرسایش یافته در کانال های دچار تخریب را تشکیل می دهد. در واکنش به تغییرات کاربری اراضی حوزه آبریز و مدیریت رودخانه در زهکش و کنترل سیلاب عدم پایداری ساحل با توجه به اتلاف مواد ساحل و از طریق افزایش ارتفاع و زاویا و عریض تر شدن سریع مجرای رودخانه تأثیراتی بر جا می گذارد. NSL در برنامه کنترل فرسایش که در ۱۹۸۴ آغاز گردید، به همراه سایر ارگان های دولت فدرال این جریانات را مورد مطالعه قرار داده است که هدف توسعه فن آوری جهت تثبیت کانال و بهسازی آن بوده است. تحقیقات جاری با هدف بهبود الگوریتم های شکست ساحل در مدل های ارزیابی ساحل در ارزیابی اثربخش طرح های احیای مجاری آب در کنار سایر اهداف صورت گرفته اند. در این مقاله تحقیقات مستمر در خصوص- الگوریتم بهبود یافته فرآیند پایه شکست ساحل و اجرای آن در مدل تحولات کانال (CONCEPTS) مورد بررسی قرار گرفته است. مدل CONCEPTS جریان تک بعدی ناپایدار، انتقال رسوبات دانه بندی شده، عریض شدن کانال و تأثیرات هیدرولیکی

و ژئومورفیکی اقدامات علاج بخشی درخصوص پوشش گیاهی و سازنده ها در شبکه های مجاری جریان در سطح حوزه آبخیزی ها در سطح مجاری را بررسی می نماید.

## شرح مدل

مدل Concepts به صورت یک بعدی انتقال رسوبات چسبنده و غیرچسبنده را در حالت معلق و در بستری که براساس کلاس اندازه دانه رسوب و فرآیندهای فرسایش ساحل در آبراهه های جریان (Corrido) شبیه سازی می نماید. لذا، می تواند واکنش دینامیکی جریان، انتقال رسوبات و شکل کانال را نسبت به اختلالاتی مانند کانال سازی، رژیم هیدرولوژیکی تغییر یافته یا سازه های هیدرولیکی درون جریانی پیش بینی نماید.

## شرایط هیدرولیکی

در مدل Concepts فرض بر آن است که جریان بصورت یک بعدی در طول خط مرکز کانال حرکت می کند و جریان را بعنوان تابعی از زمان و همزمان بعنوان یک سری از مقاطع در طول جریان با استفاده از معادلات سنت و نانت لحاظ می نماید. معاملات حاکم با استفاده از روش Preissmann تعیین و معادلات جبری بدست آمده با الگوریتم Double sweep حل می شوند. چهار نوع سازه هیدرولیکی در مدل Concepts دیده شده اند: کالورت های جعبه ای و لوله ای، پل ها، سازنده های کنترلی و سازنده های که برای آنها منحنی تراج (Rating curver) وجود دارد. نمایش ریاضی جریان در سازه های هیدرولیکی معادل جریان کانال باز است که به اجرای مؤثر سازه های هیدرولیکی می انجامد.

## جنبه های مکانیکی شکست ساحل

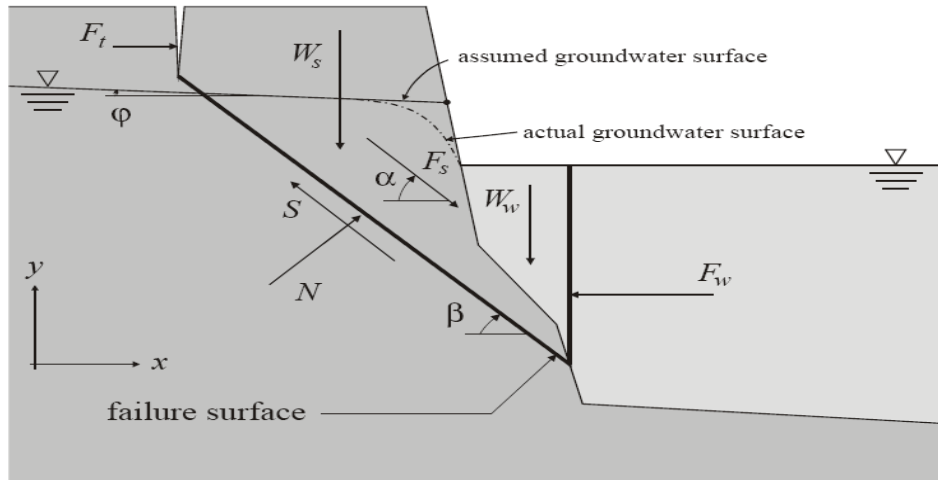
فرسایش سواحل چسبنده ترکیبی است از فرسایش جانبی پای ساحل توسط اختلاط ذرات مواد بسته و شکست عمده ساحل. در اینجا فرآیند دوم فرسایش در شکست ساحل بررسی می شود. شکست ساحل زمانی رخ می دهد که نیروهای ثقلی که به سمت شیب خاک حرکت می کنند از نیروهای اصطحکاک و چسبندگی که در برابر حرکت مقاومت نشان می دهد پیشی بگیرند. خطر شکست معمولاً با یک ضریب ایمنی که به صورت نسبت مقاوت نیروها یا گشتاورهای محرک تعریف می شود بیان می گردد. سواحل ممکن است به دلیل ۴ سازوکار شکست یابند: (۱) شکست سطحی (۲) شکست چرخشی (۳) شکست (Cantilever) و (۴) شکست Piping و Sapping. سواحل دارای شیب تند ممکن است در طول سطوح صاف شکست یابند و پیش از فروپاشی (Toppling) قسمت شکست ساحل به سمت پایین و بیرون و رو به ساحل فرو می ریزد. سواحل دارای ارتفاع و با شیب ملایم معمولاً در سطوح دارای انحنا شکست می یابند. مجموعه مواد جدا شده در اثر شکست به سمت ساحل (در زمان حرکت آن) می چرخند. سواحل آویزان (Cantilevered) زمانی رخ می دهند که فرسایش لایه های فرسایش پذیر در یک ساحل قشریندی شده به سمت لایه های فوقانی مقاوم در برابر فرسایش تبدیل می شود. سواحل ممکن است بر اثر نشست آب که به عنوان Piping یا Sapping شناخته می شود رخ دهد. لذا، در تحلیل پایداری که در بخش های بعدی ارائه می شود از تحلیل شکست سطحی ساحل استفاده شده است هندسه ساحل، ویژگی های خاک، فشار آب منفذ، فشار محدود کننده بر اثر آب جریان و پوشش گیاهی پایداری ساحل را تعیین می کنند. ویژگی های خاک وزن کلی مواد ساحل و پارامترهای نیروی برشی شامل چسبندگی زاویه داخلی اصطحکاک است. پارامترهای نیروی برشی عواملی مانند چگالی، نسبت تخلخل، میزان اشباع، ترکیب موادمعدنی، پیشینه تنش و نرخ کشش را شامل می شود. فشارهای مثبت آب منفذ در سواحل اشباع شده سبب کاهش نیروی اشباع در برابر شکست عمده ساحل می شود. شکست ساحل در دوره های نشست جریان ناشی از توفان بسیار رایج است. این مسئله به شرایط نشست سریع جریان بر می گردد که در آن فشارهای آب منفذ در سواحل مجرای آب بر اثر فشار محدودکننده ناشی از جریان محدود نشده اند. برعکس، و سیمون و همکاران (Simon and et al, 1999b) نشان داده

اندک‌که اتلاف فشار منفی آب منفذ یا مکش ماتریس، نقشی مهم در آغاز عدم پایداری ساحل پس از دوره های بارندگی بازی می‌کند. جریان های منقطع عموماً دارای سواحل مرتفعی هستند که در آن سفره آبی ممکن است در سطح جریان پایین یا متوسط نسبت به ارتفاع ساحل عمیق باشد. خاک در بالاتر از سطح سفره آبی غیره اشباع است و فشار منفذ آب توسعه یافته و سبب افزایش نیروی برشی مواد ساحل می‌شود. لذا، درتحصیل پایداری شیب ها باید مکش ماتریس مورد توجه قرارگیرد. اثرات پوشش گیاهی برفرسایش ساحل متعدد و پیچیده است. اثر پوشش گیاهی بر پایداری ساحل ممکن است هم منفی و هم مثبت باشد. ریشه گیاهان به صورت مکانیکی با انتقال تنش های برشی در خاک به تنش های کششی در ریشه ها سبب تقویت خاک می‌شود. زمانی که ارتفاع ساحل بطور عمده از عمق ریشه زنی گیاه فراتر می‌رود و در نتیجه سطح شکست ممکن است از زیر ریشه گیاه عبورکند، تقویت ریشه حالت منفی پیدا می‌کند. پوشش گیاهی سبب کاهش سطح رطوبت می‌شود برعکس ریشه ها ممکن است مسیرهایی برای عبور آب از ساحل ایجاد نمایند و لذا فشار آب منفذ را افزایش دهند. وزن اضافی پوشش گیاهی می‌تواند سبب کاهش نیروهای محرک شود و اثرات پوشش مرتفع می‌تواند برگشتاور ناپایدارکننده ساحل اثراتی داشته باشد. این تأثیرات پوشش گیاهی تاکنون به خوبی شناخته نشده اند و لذا در تحلیل فعلی وارد نشده اند. سیمون و همکاران (Simon and et al, 1999a) رویکردی را در خصوص بررسی اثر تقویت ریشه بر نیروی برشی مواد ارائه نموده است.

### تحلیل پایداری ساحل

پایداری ساحل را می‌توان با استفاده از مدل های تعبیه شده برای شیب ها و سواحل مانند بیشاپ (Bishop, 1955) و فردهاند و کارها (Feredhund and Kraha, 1977) تحلیل کرد. این روشهای تعادل محدود براساس تعادل استاتیکی نیروها و یا گشتاورها بنا نهاده شده اند. این تحلیل شامل نیروهای به وجودآمده براساس فشار منفذ آب و فشار محدودکننده می‌باشد. دراینجا کوشش شد تا با لحاظ کردن نیروی نشت درضریب ایمنی و بهبود اعمال نیروهای محدودکننده تحلیل گسترش یابد اگر چه در حال حاضر برای مواد همگن ساحلی چنین کاری صورت می‌گیرد. پس از تحقیق هانگ (Huang, 1983)، آب سطحی درقسمت شکست ساحل با این فرض مدل سازی شد که مواد مورد نظر حاوی هیچ نیرویی نیستند. لذا سطح شیب به صورت عمودی در آب گسترش می‌یابد و یک نیروی افقی بر قسمت عمودی شیب اعمال می‌گردد. نیروهای عمل کننده بر محدوده شکست به شرح زیر هستند (شکل ۱): (۱) وزن محدوده شکست WS، (۲) وزن آب سطح بر محدوده شکست WW (۳) نیروی هیدرواستاتیکی اعمال شده بر آب سطحی بر سطح شیب عمودی Fw (۴) نیروی هیدرواستاتیکی اعمال شده توسط آب درشکافت های تنش Ff (۵) نیروی نشت Fs (۶) نیروی برشی درزیر محدوده شکست S و (۷) مجموع نیروهای عادی در زیر محدوده شکست N. معادله نیروی برشی برای خاک های اشباع نشده، نیروی برشی را نشانه می‌دهد که بر زیر محدوده برش اعمال می‌شود و به صورت زیراست:

$$S = \frac{L}{F} \left( c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \right), \quad (1)$$



شکل (۱): نمایی از نیروهای عمل کننده بر محدوده شکست

که در آن  $\sigma_n$  جمع تنش نرمال بر زیرمحدوده شکست،  $U_a$  تنش هوای منفذ  $U_w$ ، فشار آب منفذ  $\dot{C}$  چسبندگی مؤثر  $\theta$  زاویه مؤثر اصطکاک داخلی است که در متغیر وضعیت تنش نرمال دیده می شود.  $\theta$  زاویه ای است که افزایش نیروی برش را برای افزایش کشش ماتریسی نشان می دهد.  $L$ ، طول شیب مورب و  $F$  ضریب ایمنی است که به عنوان ضریبی تعریف می شود که پارامترهای نیروی برشی باید برای به تعادل کشیدن جرم خاک در کنار سطح شیب مفروض کاهش یابد. تعادل نیروها در جهت های عمودی واقعی به رابطه زیر ختم می شود:

$$F = \frac{c_a L + ((W_s + W_w) \cos \beta + (F_w - F_t) \sin \beta) \tan \phi'}{(W_s + W_w) \sin \beta - (F_w - F_t) \cos \beta}, \quad (2)$$

که در آن کل چسبندگی ظاهری به صورت زیر است:

$$c_a = c' - \frac{1}{L} \left( r_u (W_s + W_w) \cos \beta \tan \phi' - \Psi \tan \phi^b \right), \quad (3)$$

و نسبت فشار آب منفذ به صورت

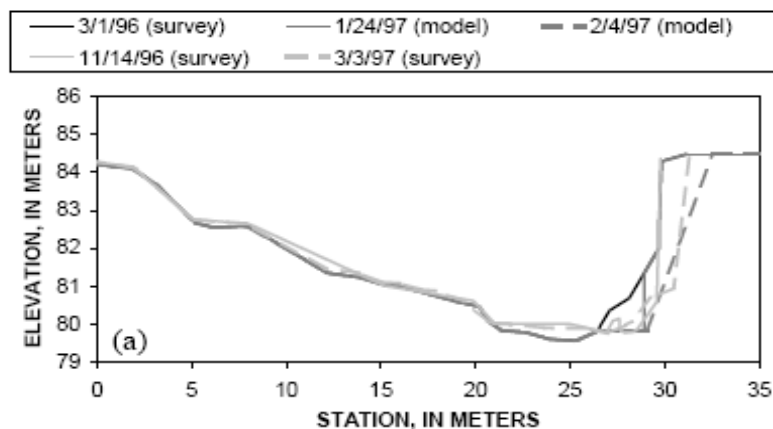
$$r_u = \frac{(\text{volume of sliding mass under water} + \text{volume of surface water on bank}) \times \gamma_w}{\text{volume of sliding mass} \times \gamma_b + \text{volume of surface water on bank} \times \gamma_w}. \quad (4)$$

است. می توان از معادله (۲) در تعیین پایداری سواحل لایه بندی شده با استفاده از چسبندگی توزیع شده و متوسط و زاویه اصطکاک داخلی برای مواد همگن ساحل استفاده کرد. اما، نمی توان معادله (۲) را برای لحاظ کردن نیروی خاک در سواحل لایه بندی شده توسعه داد.

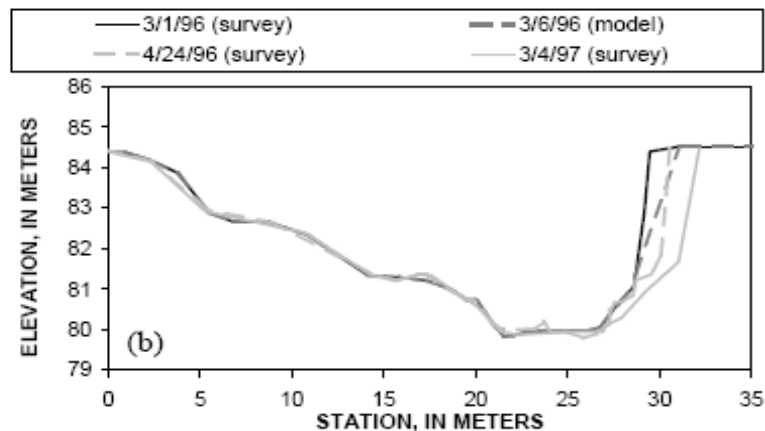
در شکل زیر، مقاطع مدل سازی و بررسی شده ۸ و ۶، مقایسه و سری های زمانی ضریب ایمنی در ساحل را در مقاطع مورد نظر ارائه شده است. در ساحل سمت راست مقطع (۶) دو شکست متوالی در ۱ دسامبر ۱۹۹۶ و میانه زمستان ۱۹۹۷ اتفاق افتاد. عقب نشینی ساحل ۶، ۰ و ۱ متر به ترتیب بود. مدل Concepts شکست ساحل را در ۴ فوریه ۱۹۹۷ شبیه سازی شد و عقب نشینی ساحل ۲/۷ بود. مدل سرعت آب شستگی محدوده مبنایی را بیشتر از حد پیش بینی نمود، همچنین

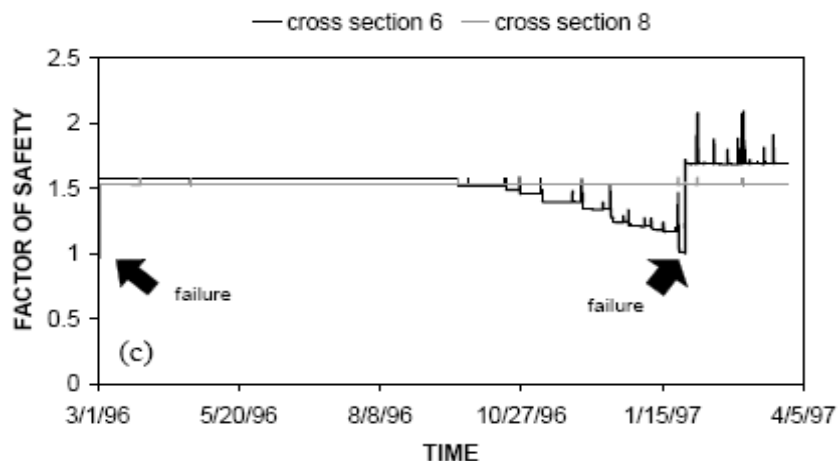
زاویه سطح شکست مشاهده بیشتر از مقدار محاسبه شده است. شکست های Cantilever معمولاً در سطوح دارای شیب کند اتفاق می افتند. مکانیسم این شکست ها در مدل Concepts اجرا نمی شود. شکل b ۳ نشان می دهد که سمت راست مقطع ۸ در اواخر آوریل ۱۹۹۶ و مجدداً در سوم فوریه ۱۹۹۷ دچار شکست می شود مدل Concepts شکست ساحل را در ۶ مارس ۱۹۹۷ شبیه سازی نمود. سطح شیب دار ساحل را در ۳/۱ متری زیر رأس ساحل قطع می کند. مدل نتوانست شکست فوریه ۱۹۹۷ را شبیه سازی کند زیرا جریان کلیه مواد جمع آوری شده از شکست مارس ۱۹۹۶ را با خود نبرد. در ۳۱ مارس ۱۹۹۷، ۰/۰۵ متر مکعب بر متر مواد مدل سازی شده باقی ماند. جریان بعدی پس از ۳۱ مارس ۱۹۹۷ باید بتواند مواد جمع شده باقی مانده را فرسوده و به تشدید شیب ساحل آرام دهد که ممکن است در بهار ۱۹۹۷ دچار شکستگی گردد. شکل c ۳ نحوه کاهش ضریب ایمنی ساحل سمت راست مقطع ۶ را پس از هر رخ داد روان آب نشان می دهد. آب شکستگی مواد ساحل در نزدیکی پای ساحل سبب تشدید شیب ساحل می شود و ضریب ایمنی را کاهش می دهد. نوسانات در ضریب ایمنی، افزایش ضریب ایمنی را بر اثر افزایش سطح جریان و لذا افزایش فشار محدودکننده نشان می دهد.

**CROSS SECTION 6**



**CROSS SECTION 8**





### نتیجه گیری

تغییرات کانال در عرض از جمله واکنش های مهم در سیستم های جریانی است که در جنوب مرکز و غرب مرکز ایالات متحده دیده می شود. تغییرات عرضی ترکیبی از آب شستگی بستر و سواحل در نزدیکی پای ساحل توسط جریان و اتلاف مواد ساحل بر اثر تشدید شیب و افزایش ارتفاع آن است. مدل های تحولات کمی کانال های آب باید به ارزیابی موفقیت تثبیت جریان و اقدامات بهسازی در حفاظت از سازنده های زیر بنایی، زمین های کشاورزی اطراف بپردازند. مدل Concepts نه تنها آب شکستگی و پرشدگی مواد بستر کانال را شبیه سازی می کند بلکه فرآیندهای فرسایش ساحل جریان را نیز شبیه سازی می نماید. الگوریتم پایداری ساحل می تواند اثرات آب سطحی و فشارهای آب منفذ را بر ضریب ایمنی ارزیابی کند و به طور خودکار بدنال سطح شیبی است که ضریب ایمنی کوچکتری ایجاد نماید. مطالعات میدانی اثرات فشارهای آب منفذ را بر ابعاد شکست ساحل و مقاومت برشی نشان می دهند. نتایج این مطالعات برای بهبود و آزمون مدل Concepts به کار می روند. استفاده از این مدل در خصوص رأس خم جریان Goodwin، در می سی سی پی نشان می دهد که الگوریتم تثبیت ساحل به دقت زمان و ابعاد شکست ساحل را پیش بینی می کند، اختلاف ها در ابعاد محدوده شکست به دلیل این واقعیت است که مدل نمی تواند مکانیم شکست Contilever را مدل سازی نماید.

### قدردانی

در پایان نویسندگان این مقاله از سازمان آب و برق خوزستان و دفتر تحقیقات و استانداردهای شبکه آبیاری و زهکشی تشکر و قدردانی می نماید.

### منابع

- 1- Alonso, c.v. 1997. Field Monitoring, Remote Sensing, and Hydrologic Evaluations in the Goodwin Creek Experimental Watershed. Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision, S.S.Y. Wang, E.J. Langendoen, and F.D. Shields Jr., eds., University of Mississippi, University, 846-852.
- 2- Asce. 1998. River Width Adjustment. I: Processes and mechanisms. J. Hydr. Engrg., 124(9). 881-902
- 3- Bishop, A.W. 1955. The Use of The Slip Circle in The Stability Analysis of Slopes, Geotechnique, 5, 7-17
- 4- Darby, S.E., C.R. Thorne. 1996. Development and Testing of Riverbank-Stability Analysis, J. Hydr. Eng., 122(8), 443-454.
- 5- Fredlund, D.G., J. Krahn. 1977. Comparison of Slope Stability Methods of Analysis, Can Geotech. J., 14, 429-439.
- 6- Huang, Y.H. 1983. Stability Analysis of Earth Slopes. Nostrand Reinhold Company, New York.
- 7- Osman, A.M., C.R. Thorne. 1988. Riverbank Stability Analysis. I: Theory, J. Hydr. Eng., 114(2), 134-150.
- 8- Simon, A., P. Comper, A. Curini, L. Yarbrough. 1999a. The Strength of Riparian Tree Roots and Their Role in Enhancing Streambank Stability, (abstract) 1999 International Water Resources Engineering Conference, Seattle.

- 9- Simon, A., A. Curini, S.E. Darby, E.J. Langendoen, 1999b. Streambank Mechanics and the Role of Bank and Near-Bank Processes in Incised Channels, Incised River Channels, S. E. Darby, and A. Simon, eds., John Wiley & Sons, New York, 123-152.
- 10- Simon, A., M. Rinaldi, G. Hadish, 1996. Channel Evolution in the Loess Area of the Midwestern United States, Proc. Sixth Federal Interagency Sedimentation Conf., Las Vegas, 3-86\_3-93.
- 11- Fredlund, D.G., H. Rahardjo. 1993. Soil Mechanics for Unsaturated Soil, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.