مديريت سيلاب در دشتهاي سيلابي با استفاده از مدل رياضي دوبعدي

سيدعلي ايوب‌زاده[۱] و عبدالرضا ظهيري[۲]

۱- استاديار دانشگاه تربيت مدرس، گروه سازه‌هاي آبي، تهران، پيكانشهر ayyoub@modares.ac.ir
۲- دانشجوي دورة دكتري دانشگاه تربيت مدرس، گروه سازه‌هاي آبي، تهران، پيكانشهر zahiri_a@modares.ac.ir

چكيده

ايران يكي از كشورهايي است كه با مشكلات زيادي در زمينة مديريت آبهاي سطحي مواجه است. هنوز هم در اغلب رودخانه‌هاي كشور، وقوع سيلاب توأم با خسارات مالي فراواني است در صورتيكه مي‌توان با مديريت مناسب سيلاب و بكمك اقدامات مهندسي ساماندهي رودخانه نظير استفاده از مقاطع مركب و احداث خاكريزهاي كنترل سيلاب، اين خسارات را به حداقل رساند. براي اطمينان از موفقيت اين اقدامات، شناسايي رفتار هيدروليكي رودخانه در هنگام وقوع سيلاب امري ضروري است. در بازه‌هاي انتهايي رودخانه‌ها معمولاً دشتهاي سيلابي عريضي وجود دارند كه سيلاب، بخشهاي وسيعي از اين دشتها را فرا مي‌گيرد. در اين حالت مكانيسم هيدروليك جريان داراي فرآيند پيچيده‌اي است كه كمتر در مدلهاي رياضي معمول رونديابي سيلاب درنظرگرفته مي‌شود. در اين مقاله بكمك حل عددي يك مدل رياضي دوبعدي و تلفيق آن با معادلات يك‌بعدي سنت ونانت، روشي براي اصلاح روش معمول رونديابي سيلاب در دشتهاي سيلابي ارائه شده است. اين روش در يك مقطع مركب غيرهمگن با دشتهاي سيلابي عريض مورد استفاده قرار گرفته و نتايج آن با روش معمول مقايسه شده است. نتايج اين مقايسه نشان مي‌دهد كه تفاوت روش اصلاحي با روش معمول قابل توجه مي‌باشد.

واژه‌هاي كليدي: مديريت سيلاب، رونديابي سيل، دشتهاي سيلابي، معادلات سنت ونانت، مدل رياضي دوبعدي

۱- مقدمه

رودخانه‌ها مهمترين منبع تأمين آب شرب، كشاورزي و صنعت مي‌باشند. يكي از مهمترين مشكلات در زمينة استفادة بهينه از رودخانه‌ها، مسئلة سيلاب است كه توأم با خطرات جاني و مالي فراواني است. در شرايط سيلاب، مقطع اصلي رودخانه پر شده و آب وارد دشتهاي سيلابي مي‌شود. اين دشتها اغلب مركز فعاليتهاي كشاورزي، اقتصادي، تفريحي و حتي مسكوني بوده و بايد در مقابل سيلاب بگونه‌اي مناسب محافظت شوند. در اين زمينه، اقداماتي نظير احداث خاكريزهاي حفاظتي و تبديل مقاطع سادة

رودخانه به مقاطع مركب در بعضي از بازه‌ها قابل ذكر مي‌باشند. مطالعات نشان داده است كه هيدروليك جريان در رودخانه‌هاي سيلابي تحت تأثير تنش برشي بين جريان مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي قرار مي‌گيرد(Shiono and Knight 1991; Ackers 1992; Ervine et al. 2000). هيدروليك جريان در رودخانه‌هاي سيلابي بدليل اختلاف مشخصات هندسي و هيدروليكي مقطع اصلي رودخانه با دشتهاي سيلابي، پيچيده بوده و اثر متقابل جريان در اين دو بخش از رودخانه بايد در نظرگرفته شود(French 1986). در بعضي از مدلهاي رياضي دشتهاي سيلابي بعنوان مقطع غيرفعال درنظرگرفته شده‌اند(Liggett and Cunge 1975; Mizanur and Chaudhry 1995). در بعضي از مطالعات نيز معادلات سنت ونانت بطور جداگانه براي مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي حل شده‌اند(Garbrecht and Brunner 1991; Tuitoek and Hicks 2001). در اين مقاله، با استفاده از مدل رياضي دوبعدي Shiono and Knight (1991) كه در شرايط جريان ماندگار و يكنواخت توسعه داده شده و تلفيق آن با حل كامل معادلات سنت ونانت، رونديابي هيدروليكي سيلاب در يك مقطع مركب غيرهمگن با دشتهاي سيلابي عريض مورد بررسي قرار گرفته است.

۲- معادلات اصلاحي سنت ونانت

براي رونديابي هيدروليكي سيلاب در رودخانه‌ها از معادلات يك‌بعدي سنت ونانت استفاده مي‌شود. اين معادلات براي رودخانه‌هايي كه جريان سيل تنها در مقطع اصلي جاري باشد جوابهاي رضايت‌بخشي داده است اما در شرايطي كه سيلاب از مقطع اصلي فراتر رفته و وارد دشتهاي سيلابي شود با توجه به اختلاف قابل توجه مشخصات موج سيلابي كه همزمان در مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي جاري است معادلات فوق بصورت زير اصلاح شده‌اند(Fread 1985; Ayyoubzadeh and Zahiri 2004).

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\beta\frac{Q^2}{A}\right)+gA\frac{\partial h}{\partial x}+gA\left(S_f-S_0\right)=0 \qquad (۱)$$

كه Q دبي جريان، A سطح مقطع جريان، g شتاب ثقل، h عمق جريان، S_0 شيب طولي كانال، S_f شيب انرژي، β ضريب تصحيح مومنتوم، x فاصلة مكاني و t فاصلة زماني است. در رابطة فوق Q و h متغيرهاي مجهول مي‌باشند. مقدار ضريب β در مقاطع ساده، نزديك به يك (۱/۰۶) توصيه شده است(Fread 1985). در مقاطع مركب با توجه به تفاوت شرايط هندسي و هيدروليكي مقطع اصلي با

دشتهاي سيلابي، مقدار اين ضريب قابل توجه است(Riviere et. al. 2002). در رودخانه‌هاي داراي دشتهاي سيلابي، ضريب تصحيح مومنتوم از رابطة زير بدست مي‌آيد(Chow 1959):

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{K_i^2}{A_i}\right)\sum_{i=1}^{N} A_i}{\left(\sum_{i=1}^{N} K_i\right)^2} \qquad (۲)$$

كه i بيانگر يكي از مقاطع جزئي (مقطع اصلي يا دشتهاي سيلابي)، N تعداد مقاطع جزئي و K فاكتور انتقال(Conveyance Factor) مي‌باشد. فاكتور انتقال بصورت زير بطور جداگانه براي مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي محاسبه مي‌شود:

$$K = \frac{A^{5/3}}{nP^{2/3}} \qquad (۳)$$

در رابطة فوق P محيط خيس شده و n ضريب زبري مانينگ مي‌باشد.
شيب انرژي با فرض شرايط جريان بصورت يكنواخت از رابطة زير بدست مي‌آيد:

$$S_f = \frac{Q|Q|}{\sum K_i^2} \qquad (٤)$$

معادلات (۱) ابتدا با استفاده از روش ضمني چهار نقطه‌اي منقطع مي‌شوند. سپس معادلات غيرخطي منقطع شده، بكمك روش نيوتن-رافسون خطي شده و با استفاده از روش حل دستگاه معادلات از قبيل گوس-سايدل حل مي‌شوند(French 1986).

۳- هيدروليك جريان در مقاطع مركب

در روشهاي معمول[1] محاسبة دبي جريان و روندیابي سيلاب در مقاطع مركب، ابتدا مقطع مركب به مقاطع جزئي (مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي) تجزيه شده و محاسبات مربوطه بطور جداگانه در اين مقاطع جزئي انجام مي‌شود. بعبارت بهتر، فرض مي‌شود كه تنش برشي ايجاد شده بين مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي نسبت به تنش برشي بستر قابل صرفنظر كردن مي‌باشد(Ackers 1992). اين در

[1] Divided Channel Method (DCM)

حالي است كه آزمايشات انجام شده در مقاطع مركب با ابعاد بزرگ (FCF) نشان مي‌دهد تنش برشي ايجاد شده بين مقاطع جزئي قابل توجه مي‌باشد. با توجه به اختلاف عمق جريان و ضريب زبري در مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي مقاطع مركب، تنش برشي قابل توجهي در مرز اتصال اين مقاطع جزئي ايجاد مي‌شود كه روشهاي معمول تجزية مقطع مركب اين تنش برشي را درنظر نمي‌گيرند. در اين مقاله از مدل رياضي دوبعدي Shiono and Knight (1991) استفاده شده است. در اين روش، از معادلة متوسط در عمق ناوير-استوكس براي حل توزيع عرضي سرعت استفاده مي‌شود:

$$\rho g h S_0 - \rho \frac{f}{8} u_d^{\,2} \sqrt{1+\frac{1}{s^2}} + \frac{\partial}{\partial y}\left\{ \rho \lambda h^2 \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} u_d \frac{\partial u_d}{\partial y} \right\} = \frac{\partial h(\rho \overline{U}\overline{V})_d}{\partial y} \qquad (٥)$$

كه ρ جرم حجمي آب، f ضريب اصطكاك دارسي-ويسباخ، u_d سرعت متوسط در عمق، s شيب جانبي، λ ضريب بدون‌بعد لزجت جريان متلاطم و y موقعيتي از عرض مقطع مي‌باشد كه سرعت در آن نقطه بايد بدست آيد. عبارت سمت راست معادلة (٥) مربوط به جريانات ثانويه است كه در آن $\overline{U}$ و $\overline{V}$ بترتيب سرعتهاي متوسط در طول زمان در جهتهاي طولي و عرضي مي‌باشند. ترم جريان ثانويه (Γ) با توجه به آزمايشات متعددي كه در مقاطع مركب با ابعاد بزرگ (FCF) انجام شده بصورت مقادير كاليبره شده زير بدست آمده است(Abril 2002):

$$\frac{\partial h(\rho \overline{U}\overline{V})_d}{\partial y} = \Gamma = \beta_s \rho g S_0 h \qquad (٦)$$

ضريب β_s براي مقاطع جزئي، مقادير ثابتي دارد. براي يك مقطع مركب همگن، اين ضريب در حالت جريان عادي برابر ٠/٠٥ و در جريان سيلابي معادل ٠/١٥ براي مقطع اصلي و ٠/٢٥- براي دشتهاي سيلابي بدست آمده است(Shiono and Knight 1991; Abril 2002).

اگرچه حل تحليلي معادلة (٥) در رودخانه‌هاي نامنظم موفقيت‌آميز بوده (ايوب‌زاده و ظهيري ١٣٨٢) اما در اين مقاله براي سهولت محاسبات از حل عددي استفاده شده است (ايوب‌زاده و ظهيري١٣٨١). معادلة (٥) يك معادلة ديفرانسيلي جزئي غيرخطي مي‌باشد بنابراين با توجه به تبديل $u\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{2}\frac{\partial u^2}{\partial y}$ و فرض $X = u_d^2$ معادلة خطي زير حاصل خواهد شد:

$$\rho g h S_0 - \rho \frac{f}{8} X \sqrt{1+\frac{1}{s^2}} + \frac{1}{2}\frac{\partial}{\partial y}\left\{ \rho \lambda h^2 \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} \frac{\partial X}{\partial y} \right\} = \beta_s \rho g h S_0 \qquad (٧)$$

معادلة فوق با استفاده از الگوريتم توماس و بصورت ضمني حل مي‌شود. براي حل معادلة فوق، ضرايب اصطكاك دارسي-ويسباخ، ضرايب لزجت جريان متلاطم و نيز ضرايب جريان ثانويه در مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي بايد معلوم باشند. روابط واسنجي شدة زير براي مقاطع مركب همگن و غيرهمگن با بستر ثابت ارائه شده‌اند(Abril and Knight 2004):

$$f_f = f_c R_f \quad \& \quad \lambda_f = \lambda_c R_\lambda \tag{۸}$$

$$R_f = R_n^2\left(0.669 + 0.331\,Dr^{-0.719}\right) \tag{۹}$$

$$R_\lambda = -0.20 + 1.2\,Dr^{-1.44} \tag{۱۰}$$

$$\Gamma_{c-Het} = \Gamma_{c-Hom}\left(1 + I_c\right) \tag{۱۱}$$

كه R نسبت ضرايب (اصطكاك دارسي-ويسباخ، لزجت جريان متلاطم، زبري مانينگ) دشت سيلابي به مقطع اصلي، Dr عمق نسبي(نسبت عمق جريان در دشتهاي سيلابي به عمق كل جريان)، انديسهاي c و f بترتيب بيانگر مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي، انديسهاي Hom و Het بترتيب بيانگر مقطع همگن و غيرهمگن و ضريب I_C نيز مقداري از اثر جريانات ثانويه مربوط به مقطع اصلي است كه بايد در حالت مقطع غيرهمگن به مقدار اين ترم در شرايط مقطع همگن اضافه شود. اين ضريب بصورت زير محاسبه مي‌شود(Abril and Knight 2004):

$$I_c = 0.0347R_n^3 - 0.485R_n^2 + 3.03R_n - 2.57 \tag{۱۲}$$

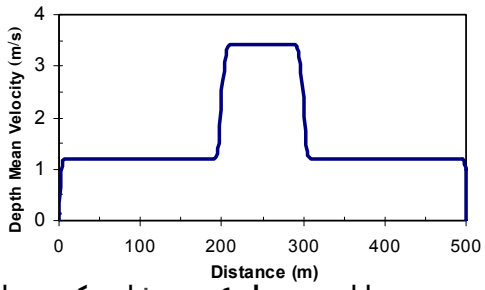
ضريب اصطكاك دارسي-ويسباخ در مقطع اصلي در شرايط جريان عادي از رابطة زير محاسبه مي‌شود:

$$f_c = \frac{8gn_c^2}{r_c^{1/3}} \tag{۱۳}$$

كه r شعاع هيدروليكي است. در شرايط جريان سيلابي (عمقهاي بالاتر از عمق لبريز)، ضريب f_c برابر مقدار بدست آمده از معادلة (۱۳) در شرايط عمق لبريز درنظرگرفته مي‌شود. همچنين ضريب بدون بعد لزجت جريان متلاطم در مقطع اصلي معادل ۰/۰۷ بصورت ثابت فرض مي‌شود(Abril 2002).

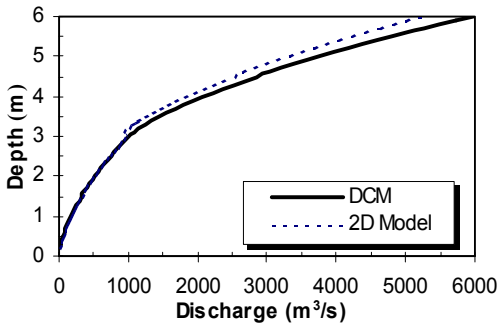
به دليل حساسيت كم مدل رياضي دوبعدي نسبت به ضرايب لزجت جريان متلاطم، مقادير اين ضريب در هر دو حالت مقاطع مركب همگن و غيرهمگن يكسان فرض مي‌شود(Knight et al. 1989). پس از تعيين ضرايب اصطكاك، لزجت و جريان ثانويه در مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي، معادلة (۵) به ازا هر

عمق دلخواه جريان، حل شده و توزيع عرضي سرعت متوسط در عمق بدست مي‌آيد. يك نمونه از توزيع عرضي سرعت به ازاء عمق جريان ٤ متر براي يك مقطع مركب مستطيلي با دشتهاي سيلابي عريض در شكل ١ نشان داده شده است. اين مقطع داراي يك مقطع اصلي با عرض ١٠٠متر و عمق ٣متر بوده و دشتهاي سيلابي آن بعرض ٢٠٠متر مي‌باشند. ضريب زبري مانينگ مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي بترتيب ٠/٠٤ و ٠/٠٦ مي‌باشند. شيب طولي مقطع ٠/٠٠٤٥ فرض شده است.



شكل ١: توزيع عرضي سرعت به ازاء عمق جريان ٤متر در مقطع مركب مستطيلي غيرهمگن

منحني دبي-اشل اين مقطع با انتگرالگيري از توزيعهاي عرضي سرعت، محاسبه و در شكل (٢) ترسيم شده است. منحني دبي-اشل حاصل از روش معمول(DCM) نيز در اين شكل ارائه شده است. با افزايش عمق جريان، اختلاف دو منحني بيشتر مي‌شود. در عمق ٦متر، اختلاف دو روش ١٤% مي‌باشد.



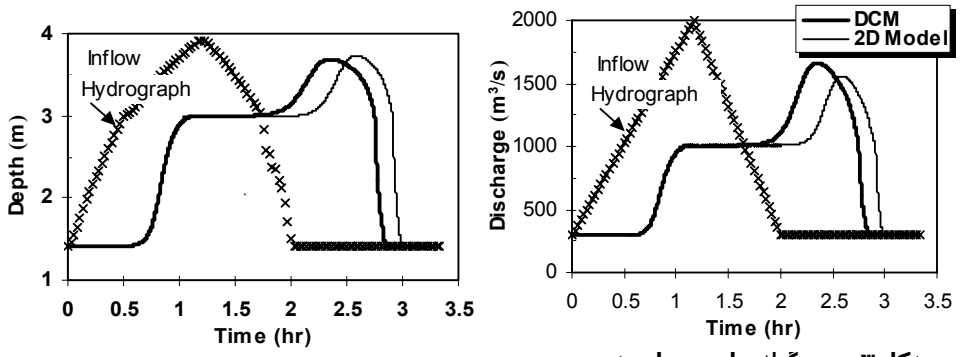
شكل ٢: روابط دبي-اشل حاصل از مدل دوبعدي و روش معمول در مقطع مركب مستطيلي غيرهمگن

٤- روندیابي سيلاب در مقاطع مركب

براي حل معادلات (١)، در اغلب مدلهاي رياضي از مقادير فاكتور انتقال مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي بدست آمده از روش معمول استفاده شده و بر اين اساس ضريب تصحيح مومنتوم β و شيب انرژي محاسبه مي‌شود. در حاليكه خطاي روش معمول با استفاده از داده‌هاي آزمايشگاهي تا٤٠% و با استفاده از داده‌هاي صحرايي تا ٢٥% گزارش شده است(Ackers 1992; Martin and Myers 1991). براي اصلاح مقادير فاكتور انتقال، از نتايج مدل رياضي دوبعدي Shiono and Knight (1991) بصورت زير استفاده مي‌شود:

$$K_c^* = \frac{Q_c^*}{Q_c} K_c \; ; K_f^* = \frac{Q_f^*}{Q_f} K_f \qquad (١٤)$$

در روابط فوق Q و Q^* بترتيب دبيهاي جريان بدست آمده از روش معمول و مدل دوبعدي بوده و علامت * نيز بيانگر مقادير اصلاح شده مي‌باشد. بر اساس مقادير اصلاحي فاكتور انتقال مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي، ضرايب β و S_f نيز از روابط (٢) و (٤) تصحيح شده و در محاسبات روندیابي سيلاب بكار خواهند رفت. در اينجا يك نمونه از اين محاسبات ارائه مي‌شود. قطع مركب مستطيلي اشاره شده در بخش قبل، در اينجا نيز مورد استفاده قرار مي‌گيرد. از يك هيدروگراف دبي ورودي مثلثي بعنوان شرط مرزي بالادست استفاده مي‌شود. دبي پايه و دبي اوج اين هيدروگراف بترتيب ٣٠٠ و٢٠٠٠مترمكعب بر ثانيه فرض شده‌اند. زمان رسيدن به دبي اوج برابر ١/١٦ ساعت مي‌باشد. شرايط اولية جريان بصورت يكنواخت در طول بازه با عمق ١/٤٢ متر فرض شده و شرايط جريان در پايين‌دست نيز بصورت يكنواخت فرض شده است. طول بازه ١٠كيلومتر درنظرگرفته شده است. شكل (٣) نتايج روندیابي عمق و دبي جريان در انتهاي بازة محاسباتي را براي هر دو روش معمول و اصلاحي نشان مي‌دهد.



شكل ٣: هيدروگراف هاي روندیابي شدة عمق و دبي سيلاب در انتهاي بازه براي يك مقطع مركب مستطيلي

هيدروگراف هاي عمق و دبي جريان در انتهاي بازه با تغيير شكل قابل توجهي همراه هستند. عمق و دبي جريان در شاخة صعودي هيدروگراف، بعد از رسيدن به رقوم لبريز و پخش شدن سيلاب در دشتهاي سيلابي، در مدت زمان زيادي بصورت ثابت باقي مانده‌اند. تفاوت شكل هيدروگرافهاي حاصل از دو روش معمول و اصلاحي نيز قابل توجه است. تفاوت عمق پيك سيلاب در انتهاي بازه در دو روش كم بوده اما روش اصلاحي عمق بيشتري را نتيجه داده است. دبي اوج سيل در انتهاي بازه از دو روش معمول و اصلاحي بترتيب ١٦٥٠ و ١٤٨٠ مترمكعب برثانيه بدست آمده كه بيانگر افزايش١٢% دبي حاصل از روش اصلاحي مي‌باشد.

۵- نتيجه‌گيري

در اين مقاله، با استفاده از يك مدل رياضي دوبعدي، معادلات سنت‌ونانت براي رونديابي سيلاب در رودخانه‌هاي داراي دشتهاي سيلابي اصلاح شده ودر يك مقطع مركب مستطيلي غيرهمگن با دشتهاي سيلابي عريض مورد استفاده قرار گرفته است. نتايج رونديابي نشان مي‌دهد كه تنش برشي بين مقطع اصلي و دشتهاي سيلابي، باعث افزايش رقوم پيك و كاهش دبي پيك سيلاب نسبت به روش معمول رونديابي سيلاب شده است. در مثال ذكر شده در مقاله، افزايش عمق پيك سيلاب، بسيار كم (١%) و كاهش دبي پيك سيل، قابل توجه (١٢%) بوده است.

تشكر و قدرداني

از حمايت مالي كميتة تحقيقات و استانداردهاي مهندسي سازمان آب و برق خوزستان تشكر مي‌شود.

مراجع

ايوب‌زاده، ع. و ع. ظهيري، حل عددي مدل رياضي توزيع عرضي سرعت و تنش برشي مرزي در مقاطع ساده و مركب، ششمين كنفرانس بين‌المللي مهندسي رودخانه، دانشگاه شهيد چمران اهواز، ٢٩٣-٢٨٥، ١٣٨١

ايوب‌زاده، ع. و ع. ظهيري، روش جديد مقاطع پوش در بررسي هيدروليك جريان در مقاطع متغير مركب رودخانه‌اي با استفاده از مدل دوبعدي. مجلة بين المللي علوم مهندسي، جلد ١٤، شمارة ٢، ١١٦-١٠٣، ١٣٨٢.

Abril, J. B. Overbank Flood Routing Analysis Applying Jointly Variable Parameter Diffusion and Depth-Averaged Flow Finite Element Models, Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Belgium, pp: 161-167, 2002.

Abril, J. B. and D. W. Knight, Stage-Discharge Prediction For Rivers in Flood Applying a Depth-Averaged Model. Journal of Hydraulic Research, IAHR, 2004.

Ackers, P. Hydraulic Design of Two-Stage Channels. Engrs Wat ., Marit. and Energy, 96: pp: 247-257, 1992.

Ayyoubzadeh, A. and A. Zahiri, Numerical Study of Flood Routing in Compound Channels. Int. Conference on Hydraulics of Dams and River Structures, 26-28 April, Tehran, Iran. pp:353-359, 2004.

Chow, V. T. Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, London, 1959.

Ervine, D. A., Babaeyan-Koopaei, K. and R. H. J. Sellin, Two-Dimensional Solution for Straight and Meandering Overbank Flows, Journal of Hydraulic Engineering., ASCE, Vol. 126, No.9, pp: 653-669, 2000.

Fread, D. L. Channel routing. In: Hydrological Forcasting. M.G. Anderson and T.P. Burt (Ed.), Wiley, New York. 1985.

French, R. H. Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Company, 1986.

Garbrecht, J. and G. Brunner, Hydrologic Channel-Flow Routing for Compound Sections. Jouranl of Hydroulic Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 5, pp: 629-642, 1991.

Knight, D. W., Shiono, K. and J. Pirt, Prediction of Depth Mean Velocity and Discharge in Nutural Rivers With Overbank Flow. International Conference on Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters, England, 1989.

Liggett, J. A. and J. A. Cunge, Numerical Methods of Solution of The Unsteady Flow Equations. In: K. Mahmood and Y. Yevjevich (Ed.), Unsteady Flow in Open Channels, Vol. I, Water Resources Publications, Fort Collins, 1975.

Martin, L. A. and W. R. C. Myers, Measurement of Overbank Flow in a Compound River Channel. Proc. Instn. Civ. Engrg., Part 2, pp: 645-657, 1991.

Mizanur, R. and M. H. Chaudhry, Flood Routing in Channels With Flood plains. Journal of Hydrology, Vol. 171, pp: 75-91, 1995.

Riviere, N., Proust, S., Bousmar, D., Morel, R. and Y. Zech, Relevence of 1D Flow Modelling For Compound Channels With a Converging Floodplain, Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Belgium, pp: 187-195, 2002.

Shiono, K. and D. W. Knight, Turbulent Open-Channel Flows With Variable Depth Across the Channel. Journal of Fluid Mechanics. Vol. 222, pp: 617-646, 1991.

Tuitoek, D. K. and F. E. Hicks, Modelling of Unsteady Flow in Compound Channels. African Journal of Civil Engineering, JKUAT, Vol. 6, pp: 45-54, 2001.