



مدل ریاضی شکست هیدرولیکی سد به روش امتداددهای مشخصه

سعیدرضا خداشناس

دکتری هیدرولیک - استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده:

آگاهی قبلی از پدیده‌هایی که سیلاب ناشی از شکست سد ایجاد می‌نماید می‌تواند از فاجعه‌های بزرگ جلوگیری نماید. محذورات مشخصه که از محادلات معروف ست وانت (Saint Venant) مشتق شده‌اند می‌توانند با دقت بالایی مشخصات هیدرولیکی یک جریان غیرماندگار نظیر موج ناشی از شکست سد را بدست آورند. برای تحقق برای شروع حل مسئله شکست سد با تقریب قابل قبول از اصطکاک و شیب کف صرف نظر می‌شود و در یک زمان بسیار کوتاه Δt از روش Ritter برای حل مسئله استفاده می‌شود. پس از شروع حل مسئله بوسیله روش مشخصه‌های ماکسون (Hartree) ادامه می‌یابد و از یک شبکه بتاناه معلوم در صفحه (X,t) بین جنبه‌های موج مثبت و منفی استفاده می‌شود. نتایج بدست آمده از این مدل با نتایج تئوری سایر محققین و نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد که تا حدود زیادی رضایتبخش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شکست سد، جریان غیرماندگار، روش مشخصه‌ها، روش Hartree

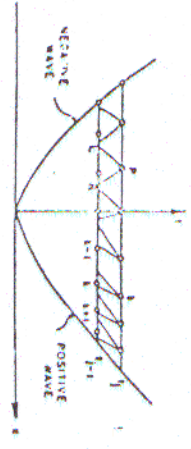
مقدمه

در مسئله شکست سد دو موج پیش رونده به سمت پایین قسمت (موج مثبت) و موج برگشتی به سمت بالا دست (موج منفی) وجود دارد که موفقیت چشمه هر یک از امواج را می‌توان بوسیله منحنی‌های F_1 و F_2 نمایش داد (زنگدل ۱۳۸۰). برپه‌چینه مطالعه شرکت سد به ۱۸۹۲ میلادی بر می‌گردد که دانشمندی آلمانی به نام Ritter به حل ریاضی این مسئله با فرضیات ساده کننده پرداخته، اما در جنگ جهانی دوم به صورت یک مسئله عملی مطرح شد که توسط RC به صورت یک روش نیمه تجربی - نیمه عددی حل شد. در آن وقت محققین نیاز به اطلاعاتی داشتند تا بتوانند برای عبور از رودخانه "رین" اگر المانها در بالا دست سد رین را بشکنند چه اتفاقی می‌افتد. بعدها با توسعه سدسازی و استقرار شهرها و صنایع مهم در پایین دست سد، اهمیت زیادی بر خوردار شد که مدل‌های یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی زیادی در این مورد ساخته شد.

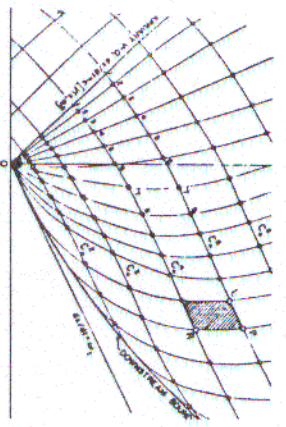
حرکت موج شکست سد از نوع جریان غیرماندگار متغیر سریع می‌باشد که با تقریب در فاصله زمانیهای کوچک به صورت جریان غیر ماندگار متغیر تدریجی فرض شده و بر اساس محادلات (S.V) Saint Venant حل می‌شود.

نتیجه سازی شکست سد معمولاً به صورت عددی می‌باشد و مدل‌های فیزیکی برای جزئیات خیلی ویژه و مشکل در سفر تجربه می‌شوند.

در روش مشخصه مکتوب (Hartree) شبکه نقاط معلوم روی صفحه (t, X) قرار می‌شود (X و X_m و t_m و t_n مقیاسها) و هدف یافتن U_m و C_m و Y_m می‌باشد. در این روش مجهولات مسئله U_m و C_m و X_m را می‌یابند که برپایه چیدمان معادله قابل مشخصه می‌باشند. مزیت روش Hartree در این است که در هر نقطه‌ای که مورد نظر است می‌توان مشخصات جریان را یافت. در شکل ۴ شبکه نقاط حل مسئله نشان داده شده است. در انتخاب شبکه نقاط می‌توان از شبکه منظم (یا نواحی منظم) استفاده کرد ولی به مرور زمان تعداد نقاط حل مسئله افزایش یافته و زمان محاسبات افزایش می‌یابد. اما می‌توان تعداد نقاط محاسبه را ثابت در تغییر وقت و به مرور فاصله نقاط محاسبه را نسبت به هم افزایش داد. که گرچه وقت محاسبات کم می‌شود ولی زمان محاسبات کاهش می‌یابد ضمن آنکه به مرور زمان جریان به حالت متبصر تدریجی نزدیک می‌شود.



شکل (۴): شبکه نقاط معلوم برای حل مسئله برون مشخصه مکتوب



شکل (۵): ابتداهای مشخصه کلاسیک

مجموعه معادلات (۳) چگونگی حل مسئله را نشان می‌دهند.

$$X'_i = \frac{\Delta t}{X_i - X_{i-1}} [v_i(v_{i-1} + c_{i-1}) - X_{i-1}(v_i + c_i)]$$

$$1 + \frac{\Delta t}{X_i - X_{i-1}} [(v_i + c_i) - (v_{i-1} + c_{i-1})]$$

$$X'_i = \frac{\Delta t}{X_{i+1} - X_i} [X_{i+1}(v_i - c_i) - X_i(v_{i+1} - c_{i+1})]$$

$$1 + \frac{\Delta t}{X_{i+1} - X_i} [(v_{i+1} - c_{i+1}) - (v_i - c_i)]$$

$$v_i = v_{i-1} \frac{X_i - X_{i-1}}{X_i - X_{i-1}} + v_i \frac{X_i - X_{i-1}}{X_i - X_{i-1}}$$

$$c_i = c_{i-1} \frac{X_i - X_{i-1}}{X_i - X_{i-1}} + c_i \frac{X_i - X_{i-1}}{X_i - X_{i-1}}$$

$$v_i = v_{i+1} \frac{X_{i+1} - X_i}{X_{i+1} - X_i} + v_i \frac{X_{i+1} - X_i}{X_{i+1} - X_i}$$

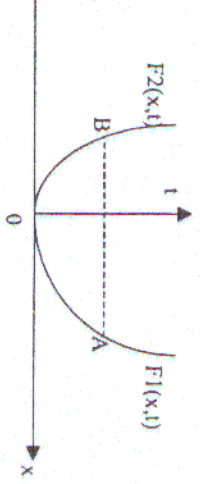
$$c_i = c_{i+1} \frac{X_{i+1} - X_i}{X_{i+1} - X_i} + c_i \frac{X_{i+1} - X_i}{X_{i+1} - X_i}$$

(3)

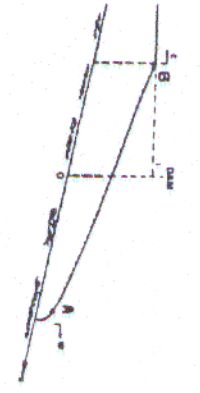
$$v_i = \frac{1}{2} [(v_i + 2c_i) + (v_{i+1} - 2c_{i+1}) + \Delta t g_i (s_{i+1} - s_i)] + (s_{i+1} - s_i)$$

$$c_i = \frac{1}{2} [(v_i + 2c_i) - (v_{i+1} - 2c_{i+1}) + \Delta t g_i (s_{i+1} - s_i)] - (s_{i+1} - s_i)$$

رسمادی از محققین نظیر (Basco, 1989), (Charangik and Chavdhry, 1991), (S.V. یک ترم ثابت در جهت موج اضافه می‌کند) استفاده کردند تا جوابهای دقیق تری بیابند ولی Boussinesq (که به معادلات (S.V) یک ترم ثابت در جهت موج اضافه می‌کند) استفاده کردند تا جوابهای دقیق تری بیابند ولی ثابت جوابها با حالات قبلی چندان مهم نبود برای حل معادلات (S.V) روشی تاخیری محدود با استفاده از شمای Preissmann بیشترین کاربرد را دارد. اما در سالهای بعد از ۱۹۸۰ مشاهده دیگری نظیر Godunov, Glimm نیز برپایه افرادی نظیر (1981) Marshal and Menendez, Vilia (1984), Paquier (1995) و غیره استفاده شد ولی حل هالی وجود دارد که از روش مشخصهها (Characteristics Method) برای حل معادلات (S.V) استفاده می‌کنند. از جمله حل اقایان (Sakkas, Strelkoff, 1973) و مدل (Schenber, Katapodes, 1984) روش مشخصهها را می‌توان به دو نوع مشخصههای مستقیم و مشخصههای مکتوب تقسیم‌بندی کرد که روش اخیر در این مقاله استفاده شده است. در این تحقیق فرض بر این است که شکست سد بصورت ذبی صورت می‌گیرد و در پایین دست رودخانه خشکی می‌باشد.



شکل (۷): منحنی موقعیت جبهه‌های موج مثبت و منفی



شکل (۸): شکست سد و موج مثبت و منفی

معادلات حاکم بر مسئله شکست سد

معادلات اساسی معادلات (S.V) می‌باشند:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(s'_i - s_0) \\ \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{A}{T} \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial y}{\partial x} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

در روش ابتداهای مشخصه معادلات فوق بصورت دو معادله دیفرانسیل کلی بصورت زیر تبدیل می‌شوند:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = u \pm c \\ \frac{d(u \pm 2c)}{dt} = g(s'_i - s_0) \end{cases} \quad (2)$$

در ابتداهای مشخصه‌های مثبت (C⁺) و منفی (C⁻)

در معادلات فوق $C = \sqrt{gT}$ سرعت نسبی موج، U سرعت جریان، A سطح مقطع جریان، T عرض سطح آب، X فاصله از مبدأ ریزش و y عمق جریان می‌باشد. با داشتن معادلات (1) و U، X و t در نقاط R و L و نوشتن معادلات مشخصه در ابتداهای مشخصه مثبت (C⁺) و مشخصه منفی (C⁻) می‌توان چهار معادله بر اساس ۴ مجهول (U, X_m, C_m, U_m) بدست آورد که برپایه معادله‌های مجهول در نقطه M نسبت خواهد بود.

در محل سد عمق و دبی همیشه ثابت بوده و برابرند یا:

$$r(0,t) = y_1 \left(\frac{2M+2}{2M+3} \right)^2 \quad (6)$$

$$Q(0,t) = A_1 C_1 \left(\frac{2M+2}{2M+3} \right)^{2M+1}$$

مداخلات فوق تنها برای شروع محاسبات و در یک Δt کوچک استفاده می شود پس از آن از روش Hartree استفاده می شود.

شرایط مرزی:

الف - مرز بالادست: بر جبهه موج منفی که به سمت بالادست حرکت می کند منطبق است از آنجایی که در بالادست جبهه منفی آب ساکن است $U = 0$ می باشد بنابراین:

$$\frac{dx}{dt} = U - C = -C$$

$$\frac{dx}{dt} = -c_1 = -\sqrt{g \left(\frac{y_1 + s_0 x}{M+1} \right)}$$

$$x = \frac{s_0 t - 2y_1}{4(M+1)} \quad (7)$$

و مقیبت مرز بالادست برابر است یا:

$$C = \sqrt{g \frac{A}{T}} \quad (8)$$

برای مناطق نامنظم می توان C را برای هر مقطع بصورت زیر یافت:

$$x = -Ct$$

و سپس مقیبت مرز بالادست عبارت است از: $x = -Ct$

ب - مرز پائین دست: مرز پائین دست جبهه موج مثبت می باشد که فرض می شود در آن عمق آب صفر است و سرعت آب همان سرعت جبهه موج W می باشد. در جبهه موج چون استانهای دو مستقیم یکدیگر را قطع نمی کنند بصورت تقریبی راس جبهه موج را از راس جبهه موج قبلی بدست می آید:

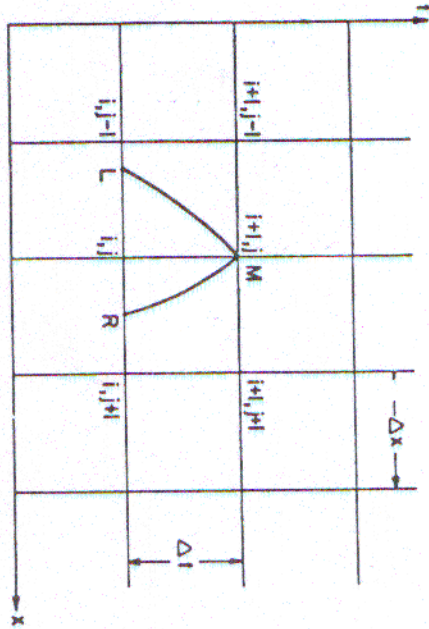
$$IE = \frac{W_1}{S_0}$$

$$(x^W)_{i+1} = (x^W)_i + (v^W)_i \Delta T$$

پس از انجام محاسبات از آنجایی که آخرین محل تقاطع مشخصه ها معلوم می باشد می توان از آنجا تا جبهه راس موج که توسط

Whitham ارائه شده است استفاده کرد. Whitham نشان داد که در ناحیه راس موج سرعت آب تقریباً یکثابت است و شبلی در مقابل شیب خط انرژی و شیب سطح آب ناچیز می باشد بنابراین معادله موثقم بصورت زیر در می آید:

$$\frac{\partial W}{\partial x} + W \frac{\partial W}{\partial x} = (S_1 - S_0)$$



شرایط اولیه

فرض می شود که در لحظه وقوع شکست سد آب دریاچه در حالت سکون می باشد و کانال پائین دست خشک می باشد:

$$y(x,0) = y_1 + S_0 x \quad x < 0$$

$$y(x,0) = 0 \quad x > 0$$

این فرض یک تاپوستگی در محل سد $X = 0$ بوجود می آورد چون در $x = -\epsilon$ $y = y_1$ و در $x = +\epsilon$ $y = 0$ می باشد. وجود تاپوستگی باعث ایجاد اشکال در شروع محاسبات باعث ایجاد اشکال در شروع محاسبات می شود. برای رفع این مشکل در شروع محاسبات از حل Ritter در یک Δt کوچک استفاده می شود. Ritter در حل مسئله شکست سد فرض کرد که مقاومت اصطکاکی و شیب کف صفر می باشد در لحظات اولیه این فرض قابل قبول می باشد.

مداخلات Ritter برای یک کانال سه ضلعی شکل بدون اصطکاکی بصورت زیر می باشد. (Sakas and Strelkoff 1973)

$$B = Ky^{M_1} \quad (4)$$

$$A = \frac{Ky^{M_1+1}}{M_1+1}$$

$$c = \sqrt{g \frac{y}{M_1+1}}$$

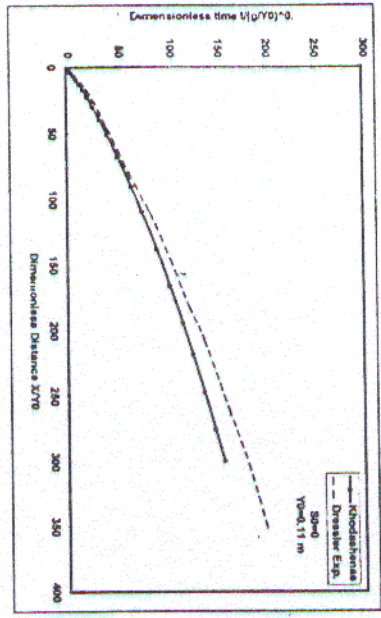
$$w_1 = 2(M_1+1)c_1$$

$$\frac{y}{y_1} = \left(\frac{2M+2}{2M+3} \right)^2 \left(1 - \frac{x}{w_1 t} \right)^2$$

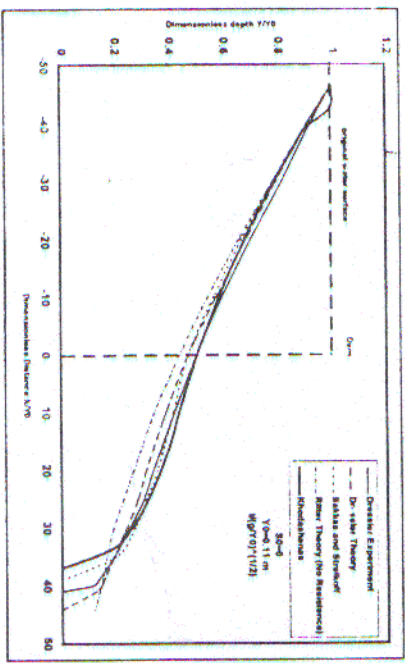
$$\frac{v}{c_1} = \left(\frac{2M+2}{2M+3} \right)^2 \left(1 + \frac{x}{c_1 t} \right)$$

مداخلات زیر سرعت جبهه موج مثبت W_1 ، سرعت جریان U در قاعده زمانی X را نشان می دهد.

- آزمایش Dressler: این آزمایش در سال ۱۹۵۴ توسط Dressler بر روی یک کانال افقی مستقیم به طول ۳۶ متر، عرض ۰/۲۷۵ متر، ضریب زبری ۰/۱۶۶ و عمق اولیه $Y_0 = 0.111$ متر انجام شد. شکل های ۸ و ۹ مقایسه نتایج مدل با آزمایش Dressler را نشان می دهند. در شکل ۸، موقعیت چینه موج پایین دست را در زمان های مختلف و شکل ۹ پروفیل سطح آب در زمان بی بعد $t = 4 \sqrt{g/Y_0}$ را نشان می دهد. شکل ۹ همچنین مقایسه ای بین چند مدل مختلف ارائه می کند.



شکل (۸): موقعیت چینه موج مثبت در آزمایش Dressler



شکل (۹): پروفیل سطح آب در زمانهای بی بعد $t = 46$ در آزمایش Dressler

- مقایسه با مدل Sakas & Strekoff

این مقایسه برای رودخانه های دریاچه های رودخانه و مقطع رودخانه را بصورت دو سهمی چپ و راست در نظر گرفتند

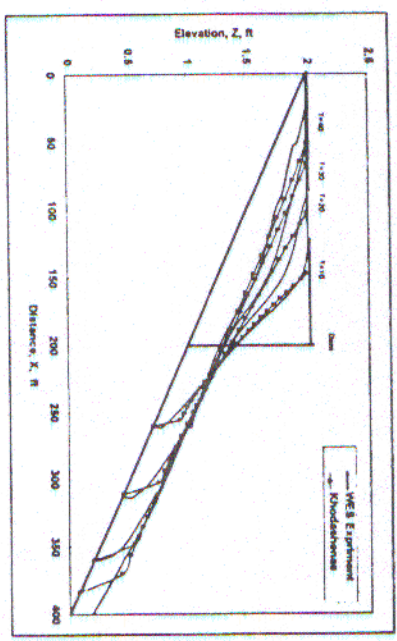
$K_L = 7.77$ و $K_R = 6.74$ و $M = 0.10$ و $n = 0.014$ و $S_0 = 0.0004$ و $n = 0.014$ و عمق اولیه آب در کنار سد ۰/۲ متر

هدف تهیه مدل برای شکست سد (Grancharevo) در رودخانه (Trebishnitsa) بود. شکل ۱۰ مقایسه مدل حاکمیت با مدل این محققین در زمانهای بی بعد $1.78/4$ و $3.9/8$ می باشد.

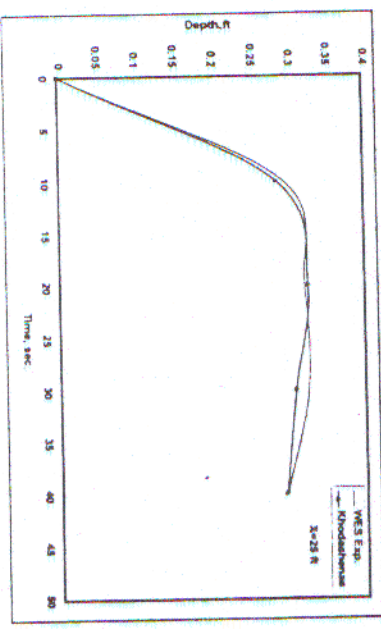
این T به مقدار آخرین نقاط مشخصه ما افلاقی می شود. مقایسه نتایج مدل با آزمایشات و نتایج سایر محققین

مقایسه تعداد آزمایشات انجام شده در زمینه شکست سد بابت پیچیدگی آن زیاد نیست. نتایج مدل با ۲ سری نتایج آزمایشگاهی WES در آزمایش Dressler در کانال مستطیلی و با مدل Sakas & Strekoff در یک کانال سهمی شکل مقایسه شد.

- آزمایش WES: سازمان مهندسی ارتش آمریکا آزمایش روی کانال مستطیلی به عرض $ft = 3.0$ ، ضریب زبری ۰/۰۰۹ و شیب ۰/۰۰۵ انجام دادند و سعی با ارتفاع اولیه ۱ فوت در وسط آن بصورت دفعی شکسته شد. شکل ۷ مقایسه نتایج مدل حاکمیت با نتایج آزمایش WES می باشد. در شکل ۷ پروفیل سطح آب در زمان های مختلف و در شکل ۷ هندروگراف جریان در فاصله ۲۵ فوتی پایین دست سد نمایش داده شده است.



شکل (۷): پروفیل سطح آب در زمانهای مختلف در آزمایش WES



شکل (۸): هندروگراف جریان در فاصله ۲۵ فوتی پایین دست سد آزمایش WES

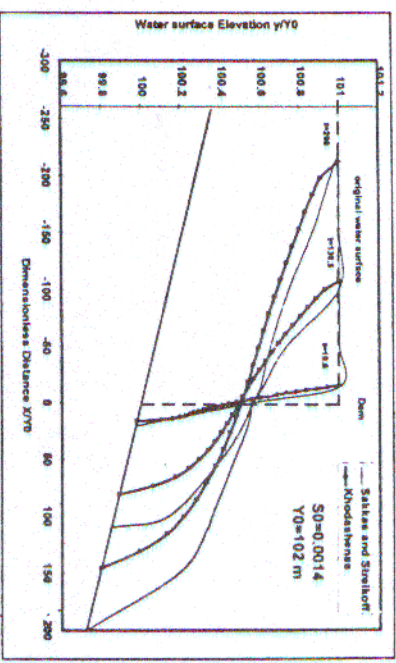
Journal of the Hydraulics Division, ASCE, HY. 9, Sep. 1978.

4 - Katopodes and Shanber,
" Applicability of Dam-Break Flood Wave Models"
Journal of the Hydraulics Division, ASCE, HY. 2, Feb. 1985

5 - MARSHALL, G., Menendez
"Numerical treatment of non conservation forms of the equations of shallow water theory"
Journal of Computational Physics. 44, 1981

6 - Sakkas and Strelkoff,
"Dam Break Flood in a Prismatic Dry Channel"
Journal of the Hydraulics Division, ASCE, HY. 12, Dec. 1973

7 - Schamber and Katopodes,
"One - Dimensional Models for Partially Breached Dams"
Journal of the Hydraulics Division, ASCE, HY. 8, Aug. 1984



شکل (۱۰): پروفیل سطح آب در زمانهای مختلف (سی بند) در مدل Sakkas - Strelkoff

خلاصه و نتیجه گیری

معادلات مشخصه از معادلات (S.V.) مشتق می شوند. با استفاده از روش مشخصه معکوس این معادلات حل می شوند و برای شروع محاسبات با تقریب قابل قبول از امساکاکی جلازها و شیب تک صورت پذیر می شود و با استفاده از روش Ritter در زمان کوت At مسئله حل می شود. حل مسئله سپس بوسیله شبکه نقاط معلوم (مشخصه معکوس) ادامه می یابد و تا نزدیکی رأس جنبه موج مثبت یعنی آنجایی که استلانه های مشخصه دارای تلاقی هستند ادامه می یابد. پس از آن از آنالیز ناحیه رأس موج (Whitham) استفاده می شود. با مقایسه نتایج بدست آمده از مدل با دیگر مدل ها و نتایج آزمایشگاهی جویهای رضایی پیش بدست آمد. برای ارزیابی خطای مدل، حجم آب قبل و بعد از شکست سد با هم مقایسه شد که در مورد مقاطع مشهوری این خطا کم می باشد. علل اصلی وجود خطا عبارتند از خطای مربوط به محاسبات؛ خطای مربوط به ثابت گرفتن نقاط محاسبه در هر گام که به مرور زمان فواصل تقابلی افزایش می یابد و خطای افزایش می یابد و خطای مربوط به داده های اولیه و یک بندی فرض کردن جریان. بنظر می رسد این مدل می تواند گام مثبتی در جهت ارائه مدل های کاملتر باشد و برای حالات ساده تر می تواند تا حدودی جایگزینی مسئله باشد.

منابع

1 - BASCO, D. R.
"Limitations of de Saint Venat equations in dam-break analysis"
Journal of Hydratic Engineering, ASCE, n° 7, July 1989.

2 - Gharangik, A. M., Chaudhry, M. H.
"Numerical Simulation of hydraulic jump"
Jornal of Hydratic Engineering, ASCE, n° 9, Sept. 1991.

3 - Katopodes and Strelkoff,
"Computing Two - Dimensional Dam-Break Flood Waves"

Measurement of Boundary Shear Stress in an Open Channel Flow With Lateral Inflow

Mehdi H. Khiadani (PhD)
Ministry of Science, Research & Technology, Iran
Simon Beecham (PhD)
Department of Civil Engineering, University of Technology, Sydney, Australia
Ali Hajian Nejad (MEngSc)
Mobarakeh Steel Company, Isfahan, Iran

Abstract:

Information from distribution of boundary shear stress in an open channel receiving lateral inflow is very important. In this research the boundary shear stress in an open channel with lateral inflow has been obtained from the velocity distribution in the viscous sub-layer. A Laser Doppler Velocimeter (LDV) was used to measure the velocity distribution. Results indicate that the lateral inflow affect the distribution of boundary shear stress. This effect is largely pronounced near the region that the lateral inflow enters the channel. Results also indicate that the average boundary shear stress at the channel bed is relatively larger than the average boundary shear stress at the channel side wall.

Mathematical Model of Dambreak by characteristics method

Saeed Reza Khodashtenas
Ph.D. in Hydraulic - Mashhad University

Abstract:

Despite the substantial safety factors incorporated into the design of important dams and careful construction, the possibility of their failure by overtopping, piping, foundation failure, seismic forces or deliberate breaching cannot be ignored. A prior knowledge of flood resulting from dam rupture, can be used as a basis for rational zoning in valleys downstream from dams as well as in preparation of disaster preparedness plans, well ahead of any possible catastrophe.

The characteristic equations are derived from the well-known Saint-Venant equations. A generalized "Ritter" solution for prismatic channel condition for starting the computation in the real-flow, dam-break problem. The characteristic equation are solved numerically on netpoints using "Hartree Method" (Inverse Characteristic Scheme). The solution is advanced close to the wave front by gradual refinement of the characteristic net. Finally the solution is extended to the wave tip, by using a simplified form of equation of motion, derived from consideration of physical situation existing in the tip region.

The computed results are compared with experimental and theoretical results obtained by others. The agreement with experimental results is generally good.

Keywords: Dambreak study, Unsteady flows, Characteristics Methods