



## استفاده از روش FRS به منظور تخمین ضخامت لایه کدر ورودی به مخزن سد دز

حمید خاکزاد<sup>۱</sup>، دکتر ابراهیم جباری<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استادیار دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

khakzad@civileng.iust.ac.ir

### خلاصه

اندازه گیری های انجام گرفته بر روی سد بتنی دز چنین نشان می دهد تا کنون بیش از ۶۵۰ متر مکعب رسوب در مخزن ته نشین شده و در نزدیکی بدنه سد رقوم رسوبات تا حدود ۲۶۰ متر بالا آمده و فاصله بسیار کمی تا دهانه نیروگاه دارد. این امر باعث گردیده که در هنگام وقوع بارندگی و پیدایش جریان غلیظ در مخزن، جریان ورودی به نیروگاه گل آلود باشد. در همین راستا لزوم تخمین ضخامت لایه گل آلود ورودی به مخزن این سد احساس می شود. مدل FRS از تلفیق مشاهدات زمین شناسی با معادلات حاکم بر حرکت جریان و رسوب حاصل شده است. این مدل برای تعیین کمیت های مرتبط با جریان گل آلود مانند تعیین غلظت رسوبات در مسیر جریان، تخمین ضخامت لایه کدر و ... کاربرد دارد. این مدل از سه بخش اصلی تشکیل شده است: (۱) مدل رسوب گذاری- جریان (S/F) که میزان رسوب گذاری مواد معلق متشکل از ذرات با اندازه های مختلف را، مشخص می کند. (۲) مدل غلظت- ویسکوزیته (C-V) که به وسیله آن، چگالی و ویسکوزیته رسوبات به صورت تابعی از غلظت رسوبات تعیین می کند. (۳) مدل جریان لایه متوسط (شبه دو بعدی) که مشخصات حرکت جریان گل آلود را بر اساس سه معادله اساسی بقاء جرم سیال، بقاء اندازه حرکت و بقاء جرم رسوب بیان می کند. در شبیه سازی کامپیوتری، این روابط باید به صورت همزمان حل شوند تا زمانی که سرعت جریان و یا غلظت رسوبات تقریباً برابر صفر شود. در این مقاله با استفاده از روش FRS ضخامت لایه کدر در نقاط نقاط مختلف مخزن بر حسب زمان تعیین و نتایج با اندازه گیریهای میدانی در مخزن سدر دز مقایسه گردید.

کلمات کلیدی: جریان گل آلود، FRS، لایه متوسط، سد دز

### مقدمه

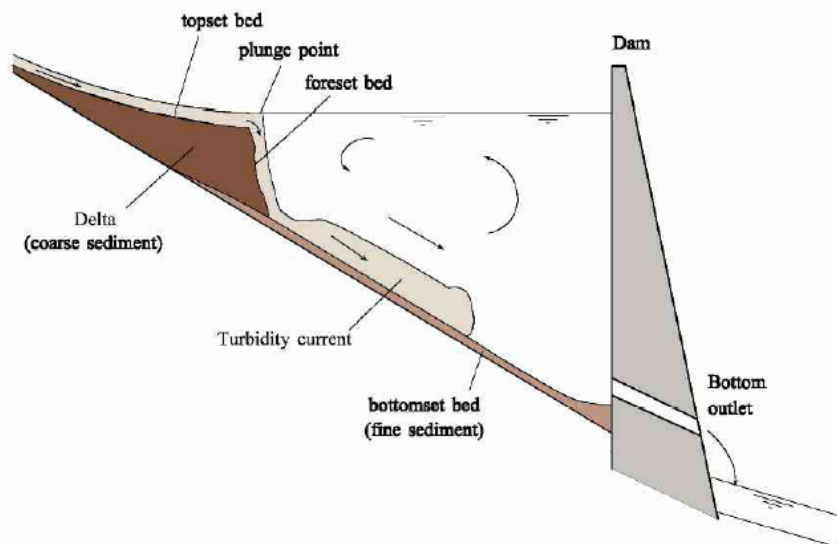
جریانهای کدر یکی از روشهای مهم انتقال رسوبات ریز دانه مثل سیلت و رس است. این جریانها در اثر اختلاف چگالی وجود رسوبات در مسیر جریان، به وجود می آید. جریان گل آلود، یک جریان در کف بستر می باشد، که تسلسل حرکت رسوبات در آن نقش مهمی را ایفا می کند، البته تسلسل ذرات ریز آب محیط اطراف نیز روی جریان موثر است. برخی ویژگیهای جریان گل آلود در مقایسه با سایر جریانات رسوب در رودخانه ها عبارت است از: (۱) این جریانات عمر کوتاهی دارند (بین چند ساعت تا چند روز) و خصوصیات جریان به سرعت تغییر می کند. (۲) این جریان با سیال محیطی خود ترکیب می شود. (۳) غلظت و تغییرات آن نقش مهمی در خواص و ارزیابی این جریان دارد. (۴) جریان گل آلود یک توده حجمی از ذرات با اندازه های مختلف را منتقل می کند.

اگر چه از تئوریهای جریان دو فازی و لایه ای برای شناخت مکانیزم حرکت جریان گل آلود و رسوب گذاری آن استفاده می شود، حرکت جریان گل آلود رفتار پیچیده تری نسبت به جریانها دارد. در جریان لایه ای عامل اختلاف چگالی که معمولاً حرارت یا شوری می باشد، ثابت است اما در جریان گل آلود بر اثر رسوب گذاری و یا فرسایش بستر در مسیر حرکت، عامل اختلاف چگالی ثابت نیست. فعل و انفعال رسوب گذاری یا فرسایش بین جریان کدر و بستر از دیگر مشخصه های عمده جریان گل آلود در مقایسه با سایر جریانات است. مسائل جریان لایه ای معمولاً شامل جریانهایی با ویسکوزیته مشابه هستند و تغییر در ویسکوزیته معمولاً در بکارگیری روابط حاکم نادیده گرفته می شود اما در جریان گل آلود تفاوت بین ویسکوزیته جریان گل آلود و سیال محیطی باید در نظر گرفته شود.

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد

<sup>۲</sup> استادیار دانشگاه

تلاشهای چشمگیری در ۴۰ سال گذشته برای شناخت مکانیزم جریان گل آلود و رسوب گذاری آن و رابطه بین مکانیزم رسوب گذاری و مشخصات رسوب ناشی از آن، انجام شده است. با توجه به اینکه شرایط منطقه و اقلیم محل عبور رودخانه ها و مخازن سدها کاملاً با یکدیگر متفاوت است، در مورد هر سد و جریانهای کدر در مخزن آن باید مطالعه موردی مجزایی صورت گیرد.



شکل ۱- فرآیند رسوب گذاری در یک مخزن

#### مطالعات نظری حرکت جریانهای کدر

اکثر مدل‌های نظری حرکت جریانهای گل آلود، بر اساس معادلات ناویر-استوکس می باشد. مدل‌های از این نوع را می توان بر اساس تعداد معادلات یا روابط فیزیکی بنیادی و نیز تعداد ابعاد در نظر گرفته به صورت زیر تقسیم بندی کرد:

جدول ۱- تقسیم بندی مدل‌های نظری

تعداد معادلات	ابعاد	کاربرد
تک معادله ای	یک بعدی	مدل کلی و ابتدایی
دو معادله ای	دو بعدی	مناسب برای جریانهای رقیق
سه معادله ای	سه بعدی	مناسب برای جریانهای رقیق و غلیظ

#### مدل شزی

اولین راه برای مدلسازی جریانهای گل آلود استفاده از مدل شزی است.

$$u = C\sqrt{Shg'} \quad (1)$$



در این مدل  $u$  برابر سرعت،  $C$  ضریب شزی،  $S$  شیب بستر،  $h$  ضخامت جریان و  $g' = g \frac{\Delta\rho}{\rho_0}$  که چگالی سیال محیطی و  $\Delta\rho$  اختلاف چگالی سیال محیطی و جریان گل آلود است. این معادله تنها برای جریانهای پایدار و یکنواخت به کار می رود و قادر به تعیین میزان رسوب گذاری و فرسایش نمی باشد.

#### مدل جعبه ای (Box model)

در این مدل جریان به صورت یک جعبه با حجم ثابت فرض می شود که سرعت نوک این حجم از رابطه زیر به دست می آید:

$$u_n = 1.19\sqrt{g'h} \quad (2)$$

این مدل برای جریانهای بسیار رقیق که شامل دانه های ریز می باشند، مناسب است اما برای مدلسازی جریانهای غلیظ کاربردی ندارد.

#### مدلهای دو معادله ای و سه معادله ای

مدلهای دو معادله ای، شامل معادلات بقاء جرم سیال و بقاء ممنتوم است و فرض می شود که تاثیر تغییرات جرم رسوب بر دینامیک سیال ناچیز باشد. بنابراین اثر متقابل بین غلظت رسوب، دینامیک سیال، و مکانیزم رسوب گذاری قابل چشم پوشی است. مدل‌های دو معادله ای برای جریان‌هایی با غلظت کمتر از ۱۸ درصد معتبر است. مدل‌های سه معادله ای معادلات بقاء جرم سیال، بقاء ممنتوم و بقاء جرم رسوب را در نظر می گیرند و در نتیجه اثر متقابل بین غلظت رسوب و دینامیک سیال و رسوب گذاری را می توان در نظر گرفت.

#### معرفی مدل FRS

مدل FRS از تلفیق مشاهدات زمین شناسی با معادلات حاکم بر حرکت جریان و رسوب حاصل شده است. این مدل برای تعیین کمیت های مرتبط با جریان گل آلود مانند تعیین غلظت رسوبات در مسیر جریان، تخمین ضخامت لایه کدر و ... کاربرد دارد. این مدل از سه بخش اصلی تشکیل شده است: (۱) مدل جریان لایه متوسط (شبه دو بعدی) که مشخصات حرکت جریان گل آلود را بر اساس سه معادله اساسی بقاء جرم سیال، بقاء اندازه حرکت و بقاء جرم رسوب بیان می کند. (۲) مدل غلظت-ویسکوزیته (C-V) که به وسیله آن، چگالی و ویسکوزیته رسوبات به صورت تابعی از غلظت رسوبات تعیین می کند. (۳) مدل رسوب گذاری-جریان (S/F) که میزان رسوب گذاری مواد معلق متشکل از ذرات با اندازه های مختلف را، مشخص می کند.

#### معادلات حاکم بر مدل جریان لایه متوسط

معادلات اساسی این مدل عبارتند از:

$$Uh = \int_0^{\infty} u_x dy \quad (3)$$

$$U^2 h = \int_0^{\infty} u_x^2 dy \quad (4)$$

$$UCh = \int_0^{\infty} u_x c dy \quad (5)$$

با انتگرال گیری از روابط بالا و حذف تغییرات سرعت و غلظت رسوب در ارتفاع روابط ساده تری استنتاج می شوند.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Uh}{\partial x} = E_w U \quad (6)$$

$$\frac{\partial Uh}{\partial t} + \frac{\partial U^2 h}{\partial x} = \frac{(\rho_s - \rho_w)g}{2\rho_w} \frac{\partial Ch^2}{\partial x} + \frac{(\rho_s - \rho_w)gChS}{\rho_w} - M_f \quad (7)$$

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial CUh}{\partial x} = v_s (E_s - c_0) \quad (8)$$



که در روابط بالا:

 $M_f =$  ممان کاهش یافته ناشی از اصطکاک در سطح سیال $E_w =$  ضریب تسلسل آب $E_s =$  ضریب تسلسل رسوب $C_0 =$  غلظت در کف سیال $v_s =$  سرعت سقوط ذرات

### ضریب تسلسل سیال

میزان ضریب تسلسل سیال تابع شرایط مرزی می باشد. حداکثر میزان ضریب تسلسل هنگامی است که جریان فوق بحرانی است. افزایش ضریب تسلسل سبب کاهش چگالی جریان گل آلود و در نتیجه سرعت جریان و ظرفیت انتقال رسوب کاهش می یابد. ضریب تسلسل تابع عدد ریچاردسون می باشد. در روش FRS برای تعیین ضریب تسلسل از رابطه Fukushima(1985) استفاده می شود:

$$E_w(Ri) = \frac{0.00153}{0.0204 + Ri} \quad (9)$$

### ضریب تسلسل رسوبات

برای تعیین ضریب تسلسل رسوبات از یک عدد بی بعد  $Z$ ، استفاده می شود که این عدد تابع سرعت برشی،  $u_*$  و سرعت سقوط ذرات رسوب و عدد رینولدز ذرات،  $R_p$  می باشد. برای تعیین  $Z$  و ارتباط آن با ضریب تسلسل از رابطه Akiyama and Fukushima(1985) استفاده می گردد.

$$E_s = \begin{cases} a_1, Z_1 > a_2 \\ a_3 Z_1^{a_4} (a_5 - \frac{a_6}{Z}), a_6 < Z_1 < a_2 \\ a_7, Z_1 < a_6 \end{cases} \quad (10)$$

$$Z_1 = \frac{u_*}{w_s} R_p^{0.5}$$

$$a_1 = 0.3, a_2 = 13.2, a_3 = 3 * 10^{-12}, a_4 = 10, a_5 = 1, a_6 = 5, a_7 = 0$$

### میزان غلظت در کف بستر

می توان میزان غلظت در کف بستر را به صورت تابعی از غلظت میانگین جریان گل آلود تعیین کرد. Parker(1985) رابطه زیر را برای تعیین غلظت در ارتفاع  $y$ ،  $(y/h=0.05)$  ارائه کرد:

$$r_0 = \frac{c_b}{C}, r_0 = 1 + 31.5 \frac{u_*^{-1.46}}{w_s}, \frac{u_*}{w_s} > 0.5 \quad (11)$$

### معادلات حاکم بر مدل C-V

این مدل رابطه بین چگالی و ویسکوزیته را به صورت تابعی از غلظت بیان می دارد. از شاخص ترین روابط این مدل می توان به روابط زیر اشاره کرد:



$$\mu_r = 1 + 2.5C + 7.031C^2 + 37.37C^3 \quad (12)$$

$$\rho_{fs} = \rho_w(1 - C) + \rho_s C \quad (13)$$

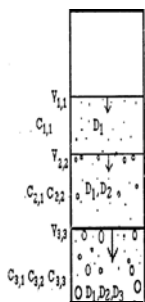
که در این روابط  $\mu_r$  ویسکوزیته و  $\rho_{fs}$  چگالی مخلوط آب و رسوب و  $\rho_s$  چگالی ذرات رسوب می باشد.

### معادلات حاکم بر مدل (S/F)

این مدل رابطه بین غلظت و رسوب گذاری مواد معلق متشکل از ذرات مختلف را بیان می کند. ساده ترین رابطه ارائه شده در این مدل به صورت زیر است:

$$V = V_0(1 - C)^n \quad (14)$$

که در آن  $V_0$  سرعت سقوط آزاد یک ذره در سیال نامحدود،  $C$  میزان غلظت و  $n$  ضریب تجربی است. در روش FRS این رابطه به شکل کاملتر برای تعیین سرعت رسوب گذاری رسوب متشکل از چندین ذره با سرعتهای رسوب گذاری مختلف ارائه شده است:

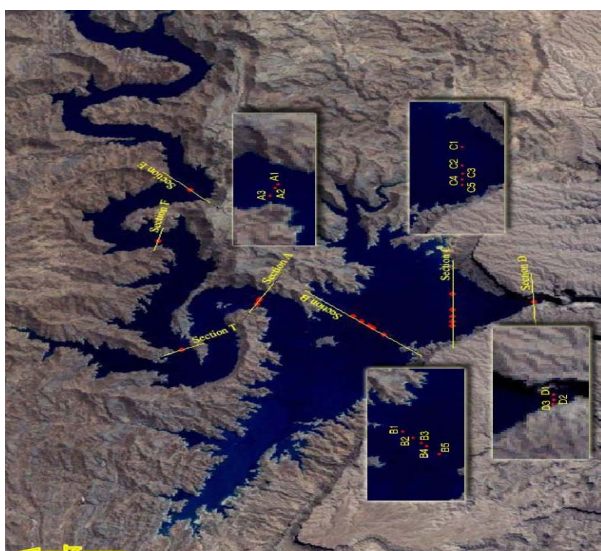


$$C_{(i,j)} = \frac{V_{(i+1,i+1)} - V_{(i+1,j)}}{V_{(i+1,i+1)} - V_{(i,j)}} C_{(i+1,j)} \quad (15)$$

شکل ۲- رسوب متشکل از چند ذره

### استفاده از روش FRS در تخمین ضخامت لایه کدر ورودی به مخزن سد دز

سد دز در استان خوزستان و در نزدیکی شهرستان اندیمشک قرار دارد. محدوده بررسی جریان گل آلود در مخزن این سد و در حد فاصل طول های جغرافیایی ۳۶۰۹۸۰۰ تا ۳۶۲۱۳۰۰ N و عرض های ۲۵۳۶۵۰ تا ۲۶۷۱۰۰ E واقع شده است. مطالعات میدانی برای اندازه گیری جریان گل آلود در مخزن سد دز از دسامبر ۲۰۰۲ تا جوئن ۲۰۰۳ انجام شده است. مهم ترین هدف از این مطالعات تعیین ابعاد هندسی (عرض و ضخامت) جریان گل آلود به منظور تعیین نرخ انتقال رسوب ناشی از آن به مخزن سد بوده است.



شکل ۴- ایستگاههای اندازه گیری جریان گل آلود



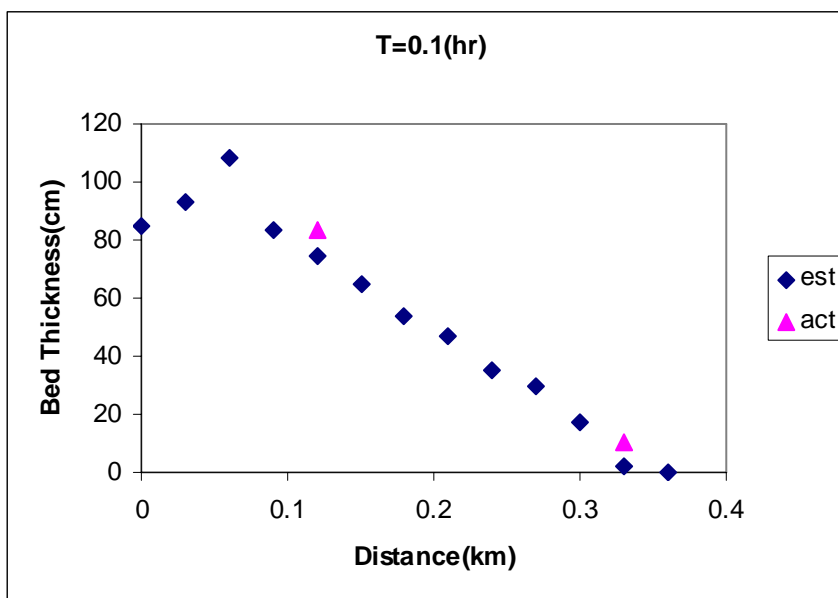
شکل ۳- موقعیت مخزن سد دز



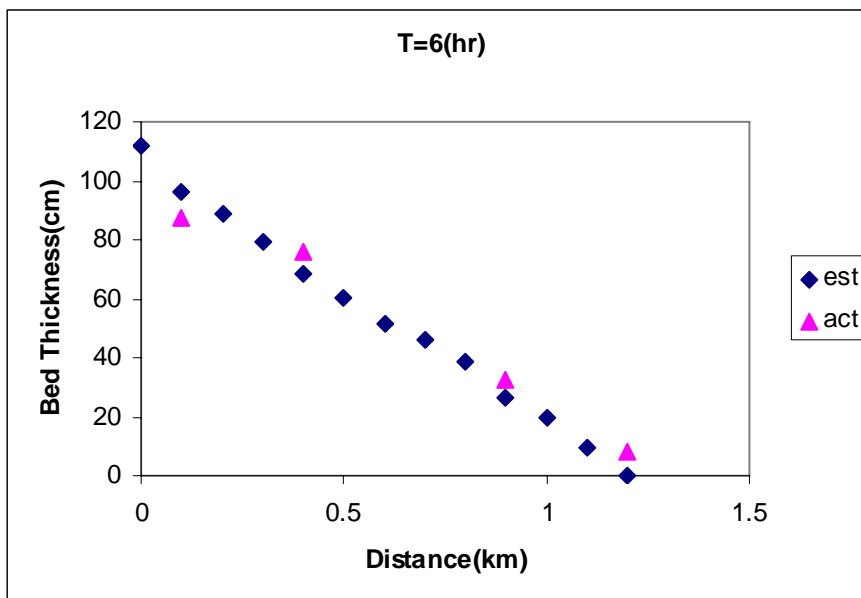
با توجه به اندازه گیریهای میدانی اندازه ذرات بین ۵۰ تا ۲۰۰ میکرون و میزان غلظت ذرات ورودی به مخزن سد بین ۵ تا ۱۵ درصد در نظر گرفته شد. در شبیه سازی کامپیوتری، مدل‌های رسوب گذاری- جریان (S/F)، مدل غلظت- ویسکوزیته (C-V) و مدل جریان لایه متوسط (شبه دو بعدی) باید به صورت همزمان حل شوند تا زمانی که سرعت جریان و یا غلظت رسوبات تقریباً برابر صفر شود.

### نتایج

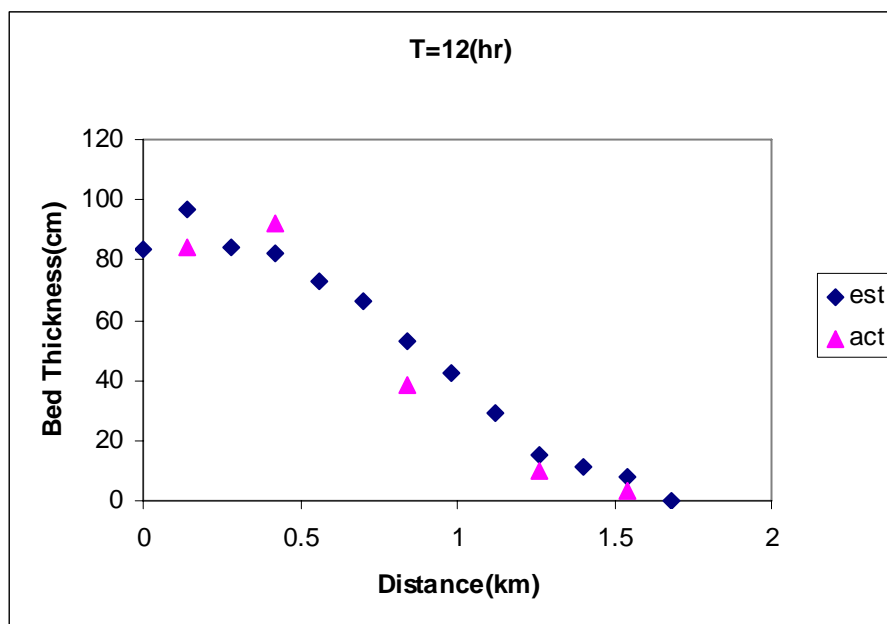
در نمودارهای زیر مقایسه ای بین نتایج حاصل از این روش با مقادیر اندازه گیری در زمانهای مختلف انجام شده است.



شکل ۵- مقایسه مقادیر تخمینی و اندازه های میدانی در زمان  $T=0.1(\text{hr})$



شکل ۶- مقایسه مقادیر تخمینی و اندازه های میدانی در زمان  $T=6(\text{hr})$



شکل ۷- مقایسه مقادیر تخمینی و اندازه های میدانی در زمان T=12(hr)

### نتیجه گیری

با توجه به اینکه در مدل FRS خصوصیات اساسی جریان کدر از جمله: (۱) عمر کوتاه این جریان (۲) ترکیب این جریانات با سیال محیطی (۳) تاثیر تغییرات غلظت بر خصوصیات جریان (۴) در نظر گرفتن جریان گل آلود به عنوان یک توده حجمی از ذرات، با اندازه های مختلف (۵) تاثیر تفاوت ویسکوزیته سیال محیطی و جریان گل آلود... را در نظر می گیرد، این مدل توانایی مناسبی برای مدلسازی جریان گل آلود و محاسبه ضخامت لایه کدر ورودی به مخزن سد را داراست.

### قدردانی

از مساعدت لازم مرکز تحقیقات آب خوزستان و شرکت مهندسین مشاور دز آب، کمال تشکر و قدردانی می گردد.

### مراجع

1. Akiyama, J., and Fukushima, Y., 1985, Entrainment of noncohesive bed sediment into suspension. External Memo. No. M-195, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota.
2. Parker G, Garcia MH, Fukushima Y, Yu W (1987) Experiments on turbidity currents over an erodible bed. J Hydr Res 25:123-147.
3. Zeng, J., and Lowe, D.R., 1992, A numerical model for sedimentation from highly-concentrated multi-sized suspension, Mathematical Geology, 24, 393-414
4. Zeng, J., and Lowe, D.R., Prior, D.B., Wisman, Wm. J.Jr. and Bornhold, B.D., 1991, Flow Properties of Turbidity Currents in Bute Inlet, British Columbia. Sedimentology, 39, 975-996