

## انتقال بار کف تحت شرایط جریان غیر ماندگار

کاظم اسماعیلی<sup>1</sup> محمود شفاعی بجزستان<sup>2</sup> سید محمود کاشفی پور<sup>3</sup>

### چکیده

در این مطالعه با هدف بررسی مکانیزم حرکت رسوب در شرایط جریان غیرماندگار، آزمایشهایی در فلوم با قابلیت شیب پذیری انجام شد. برای ایجاد جریان غیرماندگار و تولید هیدروگرافهای متفاوت، مخزنی در بالادست کانال نصب گردید. ماسه با دانه بندی یکنواخت و اندازه متوسط 1.5 میلیمتر و تحت سه دبی متفاوت و با زمان پایه متفاوت انتخاب شد. نتایج نشان می دهد که در شرایط دبی یکسان، مقدار بار رسوبی با کاهش زمان پایه افزایش می یابد. که در مقایسه با شرایط یکنواخت، میزان بار رسوبی افزایش می یابد و بیشتر تابع شرایط موج اولیه می باشد. در هیدروگرافهای با زمان پایه طولانی، میزان حرکت بار بستر به شرایط یکنواخت نزدیکتر می شود.

### مقدمه

برآورد بار رسوبی در رودخانه ها از اهمیت زیادی برخوردار است. تاکنون معادلات تجربی زیادی برای برآورد بار رسوبی در رودخانه های دائمی و با خروجی جریان ماندگار بوجود آمده است ولی در رودخانه های فصلی که معمولاً جریانهای سیلابی ناگهانی در آنها تشکیل می شود مطالعات چندانی صورت نگرفته است. با توجه به موقعیت ایران که در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد. وجود چنین سیلابهایی در بسیاری از مناطق ایران وقوع می یابد که عدم اطلاع دقیق از میزان آورد رسوب آنها، احتمال وارد آمدن خسارت به پروژه های سدسازی در این گونه رودخانه ها گردد.

بررسی دقیق شرایط جریان و نیز اندازه گیری میزان رسوب انتقالی همراه جریان در زمان سیل که پدیده ای غیر قابل کنترل است امکان پذیر نبوده نیاز به امکانات و تجهیزات کافی دارد این امر موجب گشته تا بسیاری از اثرات چنین پدیده ای ناشناخته بماند. از اینرو نیاز تحقیقات بیشتر در این زمینه ضروری بنظر می رسد. از این رو در این مطالعه حرکت بار کف در رودخانه های فصلی تحت شرایط جریانهای سیلابی ناگهانی مطالعه شده است.

انتقال بار کف در جریان غیر ماندگار مربوط به رسوب انتقال یافته ناشی از یک سیلاب ناگهانی است. سیلاب ناگهانی ناشی از بارندگی کوتاه مدت و با شدت زیادی باشد (Branson et al. 1981 and Renard 1970) [1].

در مطالعه انجام گرفته توسط چنسون (Chanson 2004) [2] در مورد روند انتقال موج حاصل از شکست سداز فرضیه Hint 1998 استفاده شد. های کوهن (Hai cohen 2005) [3] و همکاران نیز مطالعاتی را در مورد انتقال رسوب تحت جریان Flash Flood در بعضی از رودخانه های منطقه اسرائیل انجام داد اونها نشان داد که جریان در این آبراهه ها دارای زمان کم و حداکثر دبی نیز دوام کمی داشته بطوری که هیدروگراف دارای راس نسبتاً تیزی می باشد

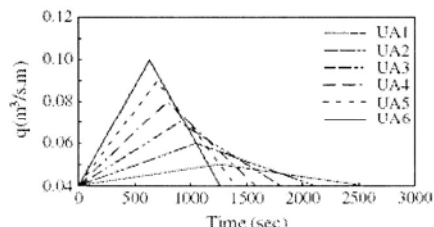
ایبان رید (Ian Reid 1998) [4] و همکاران اثر جریان Flash F. را در مورد انتقال بار کف در آبراهه های بیابانی با احداث یک بازه تحقیقاتی مونتورینگ شده مورد توجه قرار داده نسبت رواناب تولید شده به میزان بارندگی بین 0/07 تا 0/4 متغیر بوده که میانگینی برابر

1- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

2 و 3- اعضای هیات علمی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

0/2 انتخاب گردید. در این حال نتایج بدست آمده از سایر مناطق مقادیر 0/14 تا 0/27 نشان می داد که حاکی از تغییرات زیاد چنین بارشهایی در مناطق مختلف می باشد.

کوان تون لی (Kwan Tun Lee et.al 2004) [5] و همکاران تحقیقات آزمایشگاهی در مورد روند انتقال بار کف تحت جریان غیرماندگار انجام داده نمونه ای از هیدروگرافهای مورد استفاده در این مطالعات در شکل 1 مشاهده می شود.



شکل (1) هیدروگرافهای انتخابی در آزمایشات Kwan Lee 2003

پاول و بروس (Bors و Powell) [6] نتایج مربوط به یک فلش فلاذ را که ناشی از شکست سد بود و به صورت موجی در خیابانها جاری شده بود ثبت کردند. یانگ و کاپارت (Capart و Young 1998) [7] مطالعات آزمایشگاهی در مورد موج انتقال یافته ناشی از شکست سد را بر روی بسترهای قابل حرکت مطالعه نموده مشاهده کردند که شدت آبستتگی کف در ابتدای مجرا بیشتر است.

لیال (J.G.A.B Leal et., al 1999) [8] در مورد اثر موج حاصل از شکست یک سد که بصورت پدیده ای غیر ماندگار عمل می نماید بر تغییرات ایجاد شد روی یک بستر قابل حرکت (مواد شنی و مواد سبک متخلخل) آزمایشاتی را در یک کانال آزمایشی به طول 19/2 عرض 0/5 و ارتفاع 0/7 متر انجام داد. در این حال با توجه به کوتاه بودن فاصله زمانی حرکت موج از روش عکس برداری استفاده شد. و عکسهای متعددی در فواصل زمانی 0/52 تا 7 ثانیه برداشت گردید. نتایج نشان داد که پیشانی موج بطور واضحی در بستر متخلخل و سبکتر نسبت به بسترهای شنی و ثابت کوچکتر است. محقق فوق و همکاران در مورد آثار موج حاصل از شکست یک سد بر روی بسترهای خشک را با نتایج یک مدل کامپیوتری مقایسه کردند. زیگسیان کاهو و همکاران (Zhixan Cao, Gaeth Pender, et al. 2004) [9] اولین مطالعات محاسباتی را در مورد هیدرولیک کف های متحرک و ارزیابی انتقال رسوب و تغییرات بستر را از طریق مدل کامپیوتری انجام دادند. ایشان یک مدل تئوری بر مبنای اصل بقای جرم در آبراه های کم عمق ارائه نمودند نتایج نشان داد که با شکست سد در ابتدای بستر فرسایش و شستشوی شدیدی بوجود آمده و همچنان که موج به سمت پایین دست منتقل می گردد از شدت آن کاسته می شود. شرایط فوق موجب شستشوی زیاد در اطراف سد می گردد.

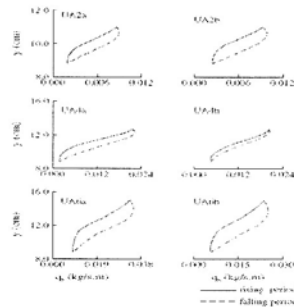
کالیفیو و الیانی (v.Caleffi & A.Valiani 2002) [10] نیز در زمینه اثر جریانهای ناگهانی بر بسترهای متحرک، تحقیقاتی را انجام داده و یک مدل ریاضی برای پیش بینی چگونگی تغییرات بستر پس از رها شدن آب ناشی از شکست سد بصورت یک موج قوی که پدیده ای غیرماندگار از نظر هیدرولیکی می باشد ارائه کردند. ایشان برای تشکیل مدل مناسب یک دستگاه چهار معادله یک بعدی انتخاب کرده و آزمایشاتی را در روی دوبرستر تر و خشک انجام دادند. لویجی فراکارلو و همکار (Luigi Fraccarollo and Aronne) [11] (armanini 1999) نیز کار مشابهی را در تهیه یک مدل ریاضی برای بررسی شرایط بستر پایین دست سد انجام دادند

اسپینوین و زچ (Spinewine .B and y. Zech 2003) [12] جریان ناشی از شکست یک سد را روی بستر قابل حرکت و تخت مورد بررسی قرار داده از طریق عکس برداری و قرار دادن فریم های بدست آمده در فواصل زمانی کوتاه روند پیشروی سیل ایجاد شده در اثر خرابی سد را تحلیل نمودند. نتایج بدست آمده از تصاویر بدست آمده (شکل 7) حاکی از جبهه قوی پیشروی در ابتدای شکست سد می باشد که می تواند فرسایش قابل ملاحظه ای در بستر ایجاد کند. هامس و ریچارد (El-Hames & Richard 1998) [13] جمع بندی در مورد انتقال افت ناشی از یک سیلاب موردی (Flash Flood) را شبیه سازی کرد برای این کار با استفاده از یک مدل دستی رگباری ناگهانی ایجاد کرده با بکارگیری معادلات سنت ونانت و ترکیب آن با معادله ریچاردافت ناشی از نفوذ را در کف بستر بدست آورد. نتایج مدل او دینامیک انتقال افت را در هنگام عبور جریان در پایین دست شبیه سازی می کند. همچنین مدل وی می تواند بخوبی انتقال افت را با کالیبراسیون ساده شبیه سازی نماید. اندرو و سیمون (Andrew Simon 2002) [14] با اندازه گیری غلظت رسوبات موجود همراه بار معلق که مقدار آن در بعضی از موارد به 100000 mg/l می رسد در نقاطی مانند آریزونا، نیومکزیک عنوان می کند که کمبود پوشش گیاهی موجب گشته که روانابهای بوجود آمده در فاصله کوتاهی به سیلاب تبدیل گردد.

لین (LANE ET AL., 1971) [15] تحقیقاتی را در مورد ارتباط هیدروگراف ورودی و خروجی جریان در رودخانه های فصلی انجام داده و در آن به توسعه مدل پیش بینی هیدروگراف خروجی از روی حجم جریان ورودی پرداخت. هیدروگراف ورودی برای یک بازه جهت پیش بینی هیدروگراف خروجی مورد استفاده قرار گرفت برای این کار از رگرسیون خطی استفاده کرد. رابطه رگرسیونی بدست آمده دارای متغیرهای محدود و با اهمیت بود. نتایج کار نشان می دهد رابطه بسیار خوبی بین انتقال افت و حجم جریان ورودی وجود دارد. همچنین هیدروگراف خروجی همبستگی خوبی را براساس توزیع گاما نشان می دهد.

بار کف:

در بسترهای آبرفتی ضخامت بارکف قابل حمل به ضخامت قشری از سطح بستر بستگی دارد که در بسیاری از وقایع در حال انتقال است (Parker et al. 1982a; Parker 1990; Pitlick 1992) [16] این ضخامت به حدود سه برابر ضخامت قطر ذرات در این نوع بسترها می رسد (Sumer et al. 1996) [17].



شکل (2) تغییرات دبی رسوبی در آزمایشات Kwan Tun Lee 2003 [6]

نتایج تحقیقات آزمایشگاهی کاون و همکاران (Kwan Tun Lee, Yi-Liang Liu and Kai-Hung Cheng 2003) [5] در مورد روند انتقال رسوب کف در شرایط جریان غیر ماندگار نشان می دهد تاخیری بین دبی حداکثر هیدروگراف جریان و حداکثر هیدروگراف رسوب وجود دارد که ناشی از تاثیر اندازه قطر ذرات است. این میزان تاخیر حدود 6-15٪ از دوره هیدروگراف را تشکیل می دهد. با تاخیر ایجاد شده میزان بار رسوبی کف در شرایط غیر ماندگار بیشتر از مقادیر پیش بینی شده از روش های ماندگار بوده و مقادیر حداکثر دبی رسوب کف همچنین بیشتر از مقادیر پیش بینی شده می باشد. همچنین این نتایج نشان می دهد نسبت مقادیر برآورد شده به مقادیر اندازه گیری شده برای تمامی هیدروگرافها بدست آمده تقریباً ثابت بوده است. در آزمایشات انجام شده مقدار کار انجام گرفته توسط جریان برای تمامی حالات ثابت در نظر گرفته شد. شکل 2 تغییرات دبی رسوب را در این آزمایشات نشان می دهد.

(Ian Reid D. Mark Powell and Jonathan B. Larone 1996) [4] برای پیش بینی بار کف منتقل شده ناشی از سیلاب های ناگهانی در مناطق صحرایی با استفاده از داده های میدانی به مقایسه روابط پیش بینی بار کف پرداخته نتیجه گرفتند که رابطه پیتر مایر با نتایج بدست آمده هماهنگی دارد و روابط مایر-پیتر و مولر در مورد رودخانه هایی که در مناطق مرطوب و با دبی پایه، هماهنگی بهتری دارد. تغییر شرایط هیدرولیکی بستگی زیادی به انتقال بار کف دارد. نتایج کار گراف و سونگ (Graf, Song 1997) [18] منتهی به ارائه یک مدل ریاضی برای برآورد بارکف گردید. بررسی منابع نشان می دهد مطالعات انجام گرفته در این زمینه بسیار اندک بوده است.

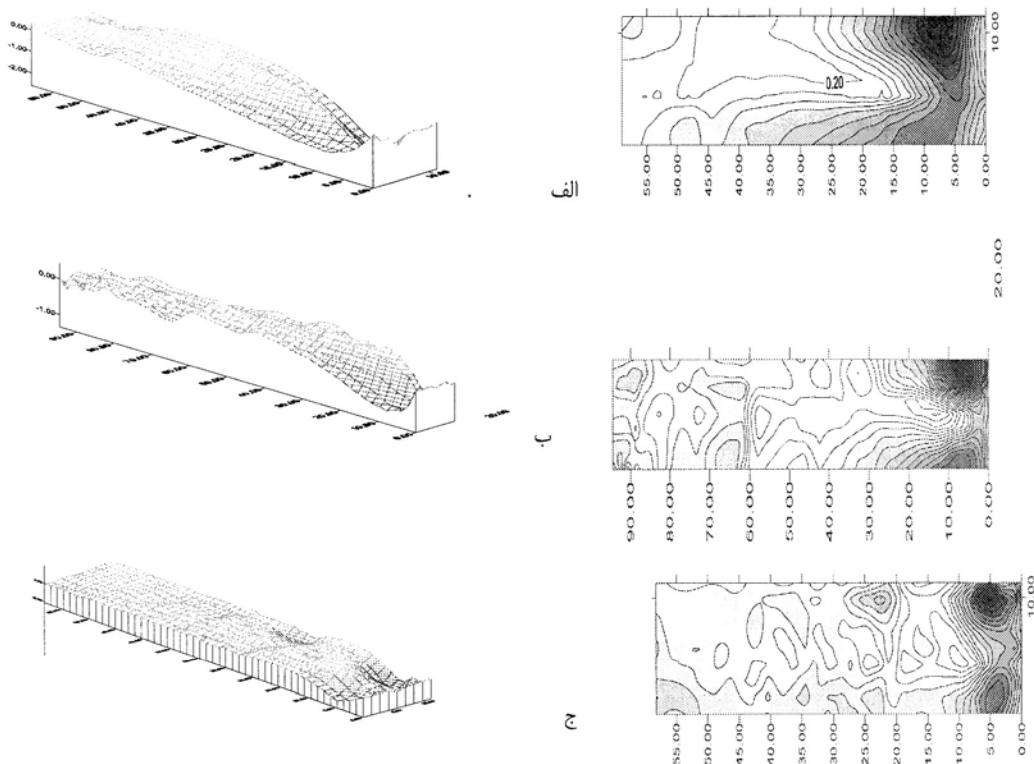
## مطالعات آزمایشگاهی

برای تولید جریان غیر ماندگار یک تانک در مسیر سیستم تغذیه کانال قرار داده شد با نصب ابزار لازم سیستم تانک امکان تولید جریان غیر ماندگار به ازاء هر زمان پایه مورد نیاز فراهم می آورد. هیدروگرافهای تولیدی در شکل 3 مشاهده می شود. کانال آزمایشی، مستطیلی به طول 10 متر ارتفاع 50 سانتیمتر و عرض 30 سانتیمتر با دیواره های شیشه ای که امکان رویت جریان را در هنگام آزمایش فراهم می سازد. کف کانال از جنس فلز رنگ شده که زبری آن در حدود جداره ها می باشد. کانال دارای قابلیت شیب پذیری بوده و سیستم اندازه گیری دبی در آن روزنه که در تحقیقات قبلی قبلا کالیبره شده است.

موادبستر از ذرات کوارتز با دانه بندی یکنواخت  $d_{50}=1.5\text{mm}$  و  $C_u=1.2$  تشکیل شده است. حداکثر دبی جریان 50 لیتر بر ثانیه بر واحد عرض کانال می باشد. توپوگرافی بستر پس از عبور جریان توسط پوینت گیج برداشت گردیده و بایکارگیری نرم افزار Surfer خطوط تراز رسم شد.

برای انتخاب طول مناسبی از بستر آزمایشات با انتخاب سه طول بستر تغییرات ایجاد شده در شکل کف با توجه به حداکثر جریان عبوری مورد بررسی قرار گرفت. در انتهای بستر متحرک بستری تعبیه شد که سطح آن توسط ذرات مورد استفاده در آزمایش چسبانده پوشیده شده بود. این کار از آن جهت انجام گرفت که اولاً طول مناسبی از بستر زیر تامین شده باشد و ثانیاً جریان بعد از عبور از روی بستر متحرک وارد بستر صاف نشده تا کاهش زبری بر حرکت رسوب تاثیر گذار نباشد. شکل 4 توپوگرافی بستر را بعد جریانهای 270، 900 و 22 ثانیه بازاءدبی 37 لیتر بر ثانیه بر واحد عرض نشان می دهد.

چنانکه از اشکال بدست آمده ملاحظه می شود شکل بستر با افزایش زمان دوام جریان بسمت یکنواختی پیش رفته تغییرات بوجود آمده در آن در ابتدا عبور جریان به حالت تعادل می رسد (شکل 3 الف). حداکثر تغییرات تا فاصله حدود یک متری از ابتدای بستر مشاهده می شود. در شکل 3-ب تغییرات بستر در مدت 270 ثانیه ترسیم شده که حاکی از آن است که هنوز سطح بستر به تعادل لازم نرسیده است. در شکل 3-ج زمان پایه جریان 22 ثانیه بوده و نشان می دهد بدلیل کوتاهی زمان عبور جریان تغییرات بستر در فاصله کوتاهی از ابتدای بستر خاتمه می یابد. بنابراین با توجه به حداکثر جریان ایجاد شده در آزمایشات انتخاب طولی در حدود 1 تا 2 متر برای انجام آزمایشات کافی می باشد. طول 1/5 متر برای ادامه آزمایشات انتخاب



شکل 3- الف زمان پایه هیدروگراف 270 ثانیه ب: زمان پایه 900 ثانیه ج: زمان پایه 22 ثانیه

برای جلوگیری از مقاومت بستر متحرک در برابر جریان یک گوه با شیب مناسب تهیه و لبه جلویی آن برای هماهنگی زبری با بستر پس از چسب زدن بوسیله ذرات ماسه پوشیده شد.

## بررسی شرایط معلق شدن ذرات

چون تحقیق حاضر در مورد انتقال بارکف در رودخانه های فصلی می باشد ، لذا باید عدم معلق شدن ذرات کنترل شود. معلق شدن ذرات عمدتاً بستگی به مولفه عمودی جریان در هم و یا سرعت برشی ( $u^*$ ) و نیز مولفه نیروی وزن ذره در حالت مستغرق دارد ( $w$ ). نسبت سرعت برشی به سرعت سقوط ذره دارد، بنابراین مطالعات بگنولد این نسبت برابر واحد و براساس پیشنهاد انگولند  $0.25/w$  می باشد. [19] Rubey (1931) نیز روابطی را به شرح زیر ارائه کرده است

$$W = (1636(\rho_s - \rho)d^3 + 9\mu^2)^{0.5} - 3\mu / 500d_{50} \quad d < 2\text{mm}$$

$$W = 3.22(d_{50})^{0.5} \quad d > 2\text{mm}$$

$\mu$ : لزجت دینامیک آب ،  $\rho_s$  و  $\rho$  بترتیب جرم مخصوص ذرات بستر و آب می باشند

$$D_{50} = 1.5\text{mm} \quad w = 0.4 \text{ m/s}$$

عمق جریان در آزمایشات اولیه نزدیک به 100 میلیمتر بدست آمد اگر این شرایط را برای حرکت ذرات مورد نظر داشته باشیم

$$U_* = (\tau_0 / \rho)^{0.5} = (gRS)^{0.5}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$S = 0.005$$

$$Rh = 0.06$$

$$\tau_0 = 2.94 \text{ N/m}^2$$

$$U_* = 0.05 \text{ m/s}$$

$$U_* / w = 0.05 / 0.4 = 0.125 < 0.25$$

که ملاحظه می شود که در شرایط این مطالعه، ذرات در جریان به صورت بار معلق حرکت نمی کنند.

## نتایج

با بررسی خطوط تراز رسم شده برای سه نمونه از شکل بسترهای بدست آمده ، ملاحظه می گردد ورود جریان به بستر متحرک فرسایش بسیار شدیدی در ابتدا ی بستر بوجود آورده و ذرات به پایین دست منتقل می شوند. فرونشست ذرات در فاصله کوتاهی بعد از محل فرسایش

گویای آنست که انرژی جریان با سرعت کاهش یافته و رسوب گذاری آغاز می گردد. این نکته با نتایج بدست

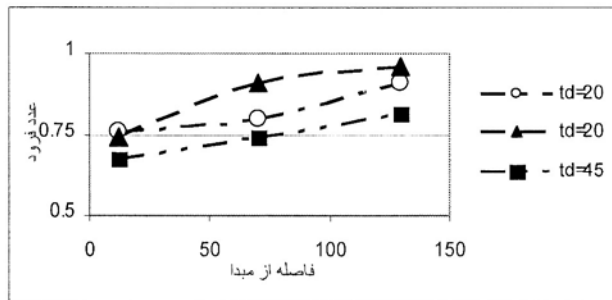
آمده در آزمایشات [8] Leal 1999، [9] Zhixan 2004، [10] V. Caleffi, Valiani 2002، [12] Spinewine Zech 2003،

مطابقت خوبی دارد. تغییرات عدد فرود به ازاء یک دبی معین برای چهار حالت آزمایشی در فواصل مختلف از ابتدای بستر قابل فرسایش

جدول (1) خلاصه ای از شرایط آزمایشی

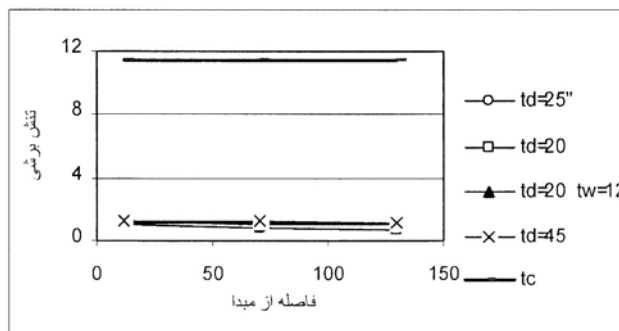
ردیف	نوع بستر	شیب	دبی در واحد عرض (l/s/m)	زمان پایه هیدروگراف (sec)	دبی جرمی ذرات بار کف (gr/s/m)	عمق پایاب (Tw) (mm)	طول بستر (cm)
1	متحرک	0.002	36/7	20	62/12	0	150
2	متحرک	0.002	36/7	20	30/4	12	150
3	متحرک	0.002	36/7	45	33/8	0	150
4	متحرک	0.002	42/2	18	42/2	0	150
5	متحرک	0.002	42/2	30	33/3	0	150
6	متحرک	0.002	42/2	60	26/1	0	150
7	متحرک	0.002	42/2	688	40/6	0	150
8	متحرک	0.002	36/7	900	25/2	0	235
9	متحرک	0.002	36/7	270	29/7	0	235

در شکل 4 ترسیم شده است. با توجه به غیر ماندگاری جریان ملاحظه می شود با ادامه به سمت پایین دست جریان عدد فرود با کاهش عمق افزایش می یابد. کاهش عمق در پایین دست متناسب با کاهش تنش برشی وارد بر بستر بود و جابجایی ذرات در قسمت انتهایی ناچیز است.



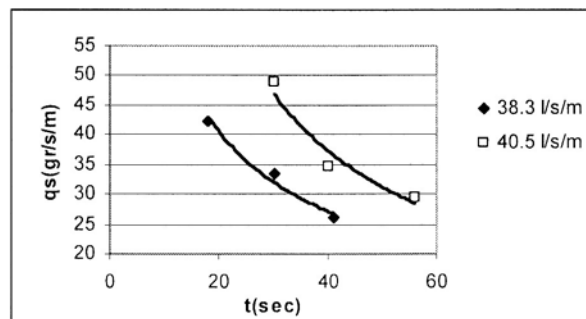
شکل (4) مقادیر عدد فرود در سه مقطع متوالی در جریان (نتایج ردیف 1 و 2 و 3 جدول 2)

نتایج بدست آمده نشان می دهد تنش برشی وارد کف ( $\tau_0$ ) از مقادیر تنش بحرانی ( $\tau_c$ ) کمتر است در عین حال ذرات بر روی بستر به حرکت در آمده از اینرو می توان فرض کرد در جریانهای غیر ماندگار علت اصلی در جابجایی ذرات تنش برشی بتنهایی نبوده بلکه عوامل دیگر در این امر موثر هستند. شکل 5 تغییرات تنش برشی وارد بر کف و نیز تنش برشی بحرانی را که جهت مقایسه ترسیم شده است نشان می دهد.



شکل (5) تغییرات تنش برشی وارد بر کف در طول بستر با ذرات قابل حرکت

همچنین در شکل 6 مقادیر دبی رسوب (متوسط) در برابر زمان پایه هیدروگراف در مورد سه دبی انتخابی آورده شده است روند بدست آمده در شکل مذکور حاکی از آنست که با افزایش زمان پایه هیدروگراف میزان دبی رسوب (بارکف) کاهش می یابد مقایسه مقادیر بدست آمده برای دبی رسوب در شرایط غیر ماندگار با مقادیر بدست آمده از آزمایشات طولانی مدت تر نشان می دهد در شرایطی که دوره پایه هیدروگراف جریان افزایش یابد جریان غیر ماندگار به سمت شرایط ماندگار سوق می یابد میزان دبی رسوب انتقالی با تثبیت شدن شکل بستر وثابت شدن مقاومت در برابر جریان کاهش و تقریباً یکنواخت می گردد.



شکل (6) تغییرات روند انتقال رسوب در برابر زمان پایه هیدروگراف

## نتیجه گیری:

- آزمایشاتی برای بررسی تأثیر جریان سیلاب ناگهانی بر روی رودخانه فصلی صورت گرفت. برای این امر از طریق مدل سازی و کاربرد آزمایشگاه اقدام به تولید اطلاعات گردید. نتایج بدست آمده را می توان بطور خلاصه بصورت زیر بیان نمود:
- 1- هیدروگراف ایجاد شده همچون یک موج عمل نموده و اثرات آبشستگی ایجاد شده و انتقال ذرات به سمت پایین دست بانتهای بدست آمده توسط سایر محققین مطابقت دارد.
  - 2- بررسی اثر تنش برشی وارد بر کف نشان داد در جریان غیر ماندگار ذرات علیرغم کمتر بودن تنش برشی وارد بر کف نسبت به تنش برشی بحرانی به حرکت درآمده که وجود عوامل موثر دیگر را بر حرکت ذرات بسترناپدید می نماید.
  - 3- با افزایش زمان پایه هیدروگراف های رها شده تغییرات بوجود آمده در شکل بستر به سمت پایداری سوق می یابد.
  - 4- دبی رسوب (بارکف) با کاهش زمان پایه هیدروگراف افزایش می یابد که این موضوع همچنین موید موضوع مطرح شده در بند 2 می باشد.

## منابع:

1. Branson, F. A. and J. B. Owen. 1970. Plant cover, runoff and sediment yield relationships on moncos shale in western Colorado. Water Resources Research 6(3): 783-790.
2. Chanson Hubert 1999. "The Hydraulic of open channel flow" published by Arnold. 338 Euston Road. London Chin, Lien. Yen. and Tun Lee. Kwan .1995. "Bed Topography and sediment Sorting in Channel Bend With Unsteady Flow" vol. 121, No.8
3. Cohen, Hai., and Jonathan B. Laronne 2005 " High rates of sediment transport by flashfloods in the southern Judean desert ,Israel" Hydrological processes 19,1687-1702
4. Reid, Ian., Laronne, Jonathan b., and Powell, Mark.1998. "Prediction of Bed-Load Transport by Desert Flash Floods" J. of hyd. Eng.vol.122, No.3
5. Kwan tun Lee, Liu Ya-Liang and Kai-Hung Cheng .2003 Experimental Investigation of bed load transport processes under unsteady flow conditions ".Hydrological processes. Copyright 2004 john wiley & sons, Ltd.
6. Carpat,H.& Young, D.L.1998. Formation of a jump by the dam-break wave over a granular bed .j. of Fluid Mechanics 372:165-187
7. Leal .J.G.A.B. , Ferreira ,RML. & Cardoso ,A.H. and AB . Almedia . AB .2003. Comparison between Numerical and Experimental Results on Dam-Break waves over Dry Mobile Beds. J. River 2002.
8. Zhixan, Cao, Gaeth Pender, Stive Wallis and Paul Carling . 2004 .computaational Dam-Break Hydraulics over Erodible sediment Bed. J.Hydr.Engrg., Vol. 130, Issue 7, pp. 689-703
9. Caeffi, V. & Valiani, A. 2002. .A Mathematical Model for Dam-Break Over Movable Bed. In River flow 2002 D. Bousmar & Y. Zech (ed). Proceeding of the International Conference on Fluvial Hydraulic , Louvian- la - Neuve, Belgium: 981-990 .Balkema
10. Fraccarollo, Luigi. and Armanini, A. 1999. A Simi-Analytical Soution For The Dam-Break Problem Over A movable bed . IAHR
11. Spinewine, Y . Zech Dept. Civ. And Env. Engrg., Universite Catholique de Louvain, Belgium
12. El-Hames A.S. and Richards K.S. 1998. "An Integrated, Physically Based Model for Arid Region Flash Flood Prediction Capable of Simulating Dynamic Transmission Loss. Hydrological Processes , 12, pp 1219-1232
13. Simon, Adrew. 2002 "suspended-Sediment-Transport Rates at the 1.5-Year Recurrence interval for Ecoregions of the united states: Transport Conditions at the Bankfull and Effective Discharge. Research Geological at the usda -ars National Sedimentaion

Laboratory.

14. Lane, L. J., Hernandez M. and M. Nichols. 1997. Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of spatial scale. *Environmental Modeling and Software* 12: 355-369.
15. Parker, G.(1990)"Hydraulic geometry of active gravel rivers."j. Hydr. Div. ,ASCE, vol.105,1185-1201
16. Sumer,B.M.;Kozakiewicz, A.; Fredsoe, j&Deigaard,R.1996."Velocity and Concentration Profiles in Sheet Flow Layer of Movable Bed." *J.of Hydr. Engn.* 122(10):549-558
17. Graf, .W.H.& Song, T.1995. "Bed-Shear Stress in Non-Uniform and Unsteady Open-Channel Flows." *J. of Hydr.rese.* 33(5):699-704
18. Reservoir Sedimentation handbook hand book

**7th International River Engineering Conference**  
**Shahid Chamran University , 13 -15 Feb 2007 , Ahwaz**

### **Bed Load Transport under Unsteady Flow Conditions**

Esmaili<sup>1</sup>, K, M Shafaie Bajestan<sup>2</sup>, and S M Kashefipour<sup>3</sup>

1. PhD Student, Water Sciences Engineering Faculty
2. Professor, Water Sciences Engineering Faculty
3. Assistant Professor, Water Sciences Engineering Faculty

#### **ABSTRACT**

In this research study the sediment transport under unsteady flow conditions has been investigated using a series of experiments carried out in a tilted laboratory flume. A reservoir was installed at the upstream of the flume for generating different unsteady hydrographs. Fine sand with uniform size distribution and an average size of 1.5mm was used with three different discharges and three different base flow times. The results show that for the same discharge, sediment load was increased with decreasing base flow time. Sediment load was found to be a function of the primary wave conditions and its amount is more than what is generally occurred for steady conditions. For hydrographs with long base flow time, sediment transport under unsteady conditions would be almost the same as for the steady conditions.