

## مدل پیش بینی بارکف در رودخانه فصلی

کازم اسماعیلی\* - محمود شفاعی بجنستان - محمود کاشفی پور<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۸۶/۱۱/۱۵

### چکیده

با هدف بررسی عوامل مؤثر و شبیه سازی شرایط انتقال رسوب در رودخانه فصلی و مقایسه آن با رودخانه دائمی مجموعه‌ای از آزمایشات در یک کانال آزمایشگاهی انجام گرفت. جهت برآورد پارامترهای هیدرولیکی جریان در کانال، معادلات هیدرودینامیکی جریان با توجه به شرایط هندسی بستر و شرایط اولیه و مرزی جریان به روش عددی حل گردید. هیدروگراف های مثلثی با زمان دوام ۴۰، ۶۰، ۸۰ ثانیه و ۵ دبی متفاوت در هر حالت تولید گردید. شیب کف ۰/۰۰۶، ۰/۰۱۴، ۰/۰۱۸ و ۰/۰۲۰ انتخاب شد سه نوع دانه بندی با قطر ذرات ۱/۵، ۳/۱ و ۳/۲ میلیمتر از مواد رودخانه‌ای تهیه گردید. در این آزمایش‌ها از آب تمیز استفاده شد و تغذیه رسوب از بالا دست وجود نداشت. نتایج حاصل از ۸۵ آزمایش رسوب در حالات مختلف نشان داد. شیب کف مهمترین عامل در انتقال رسوب است، و جداسازی روابط پیش بینی رسوب براساس آن امکان پذیر می‌باشد. زمان پایه هیدروگراف نیز نقش موثری بر میزان رسوب انتقالی دارد، و با افزایش زمان پایه دبی رسوب انتقالی کاهش می‌یابد. فرم بستر نقش زیادی در مقاومت ایجاد شده در برابر جریان داشته و جریان انتقال رسوب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نسبت دبی رسوب در حالت غیر دائمی به دبی رسوب در حالت دائمی در این مطالعه با نتایج لی کان تون Leekwan.tun هماهنگی خوبی نشان می‌دهد. (۴)

**واژه های کلیدی:** جریان غیر دائمی، بار کف، سیلاب ناگهانی، رودخانه فصلی

### مقدمه

نزدیک قطب همواره بارش اصلی برف می‌باشد. آبراهه‌ها نیز از نوع بارش تأثیر می‌پذیرند. در نواحی پر باران معمولاً رودخانه‌ها از نوع دائمی و در مناطق کم باران در اغلب موارد در طول سال خشک بوده، که آن‌ها خشکه رود هم می‌نامند. از این جهت رودخانه‌ها را به دودسته کلی رودخانه های دائمی و فصلی تفکیک می‌نمایند.

هرچند که رودخانه های فصلی نسبتاً از ارزش اقتصادی پایین تری برخوردار هستند، اما رویکردهای جدید در علوم مهندسی رودخانه توانسته بسیاری از ارزش های ناشناخته این آبراهه‌ها را شناسایی کند. مثلاً بستر این رودخانه‌ها و حوضی

وضعیت اقلیمی مناطق مختلف کره زمین سیستم های طبیعی را در راستای خصوصیات خود کنترل می‌کند. از این رو مشاهده می‌شود و بزه گی هر پدیده، مثلاً، بارش به صورت برف یا باران در شرایط اقلیمی مختلف، متفاوت است. این تفاوت مشخصه های طبیعی هر ناحیه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین نوع بارش در مناطق استوایی به صورت باران های سیل آسا و طولانی مدت و در مناطق

۱- به ترتیب مربی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و دانشجوی دکتری،

استاد و دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز

Email: kazem.Esmaili@gmail.com

\* نویسنده مسئول

رودخانه‌های فصلی عبارتند از جمع یک سری از رواناب‌های جدا و مستقل. بنابراین رویکرد موجود برای برآورد رسوب سالانه تجمیع رسوب حاصل از رگبارهای سالانه می‌باشد. ولهیسرز و تودوریچ یک رابطه خطی بین لگاریتم بار رسوبی و لگاریتم دبی حداکثر پیشنهاد کردند، که می‌تواند روشی برای برآورد رسوب باشد (۱۰). رانکل و همکاران با استفاده از ۱۰۵ هیدروگراف به دست آمده از ۳۵ حوزه رابطه‌ای مستقیم بین لگاریتم حجم رواناب و لگاریتم دبی حداکثر تعریف کردند (۵).

ایمان رید و همکاران اثر جریان سیلاب سریع را در مورد انتقال بار کف در آبراهه‌های بیابانی با احداث یک بازه تحقیقاتی مونتورینگ شده مورد توجه قرارداد به طوری که نسبت رواناب تولید شده به میزان بارندگی بین ۰/۰۷ تا ۰/۴ متغیر به دست آمد، و میانگینی برابر ۰/۲ انتخاب گردید. نتایج سایر مناطق مقادیر ۰/۱۴ تا ۰/۲۷ را نشان دادند، که حاکی از تغییرهای زیاد چنین بارش‌هایی در مناطق مختلف می‌باشد (۸). کوان تون لی و همکاران تحقیق‌های آزمایشگاهی در مورد روند انتقال بار کف تحت جریان غیرماندگار را با مدل سازی شرایط طبیعی رودخانه هیلی در شمال تایوان در آزمایشگاه به انجام رساندند (۴). زمان پایه انتخابی برای هیدروگراف‌های تولیدی بین ۱۳۰۰ تا ۲۴۰۰ ثانیه تغییر می‌کرد که این مقادیر تفاوت قابل ملاحظه‌ای با مقادیر در نظر گرفته شده در آزمایش‌های گراف (۲) دارد. مقایسه نتایج به دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی محققین حاکی از آن است، زمان پایه انتخابی از معیار و ملاک مشخصی تبعیت نمی‌کند، آنچه که اهمیت دارد آن است که جریان‌های ایجاد شده، تولید کننده یک جریان سریع باشند.

این تحقیق با هدف مطالعه عوامل مؤثر بر چگونگی حرکت بار کف در رودخانه فصلی و بررسی علل تفاوت آن نسبت به رودخانه دائمی که به صورت مدل سازی

آن محل مناسبی برای پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی است. ویا منابع آب آن‌ها چاره ساز کم آبی ساکنین نواحی ساحلی می‌باشد. از این جهت هرگونه فعالیت عمرانی بر روی چنین رودخانه‌هایی باید از طریق روش‌های علمی صورت گیرد، تا هدف‌های مورد نظر از احداث آن‌ها تحقق یابد.

یکی از مهمترین مسائل رودخانه‌های فصلی موضوع حرکت رسوب در آن‌هاست. به دلیل تفاوت نوع جریان در این رودخانه در مقایسه با رودخانه دائمی مقدار و روند حرکت رسوب نیز متفاوت است.

بار رسوبی کف در این آبراهه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است، و حدود ۲۵ درصد بار کل را تشکیل می‌دهد (۸). در صورتی که در رودخانه‌های دائمی این مقدار بین ۵ درصد تا ۱۰ درصد می‌باشد. برآورد بار رسوبی برای آنالیز منابع آب، مدل سازی‌ها و کاربردهای مهندسی امری ضروری است. رسوب به عنوان نوعی آلودگی عمده یا انتقال دهنده آلودگی به شمار می‌رود که مقدار ته نشین شدن آن طول عمر و کارایی سدها، کانال‌ها و غیره را تغییر می‌دهد (۳). اندازه گیری رسوب کار پرهزینه و امکانات خاصی را می‌طلبد. از طرفی بسیاری از روابط و تکنیک‌های فعلی تخمین رسوب بر اساس روابط خطی بین متغیرهای مستقل (پارامترهای هیدرولیکی و هندسی) و متغیر وابسته (رسوب) استوار است که به خوبی رفتار پیچیده و واقعی رسوب را پیش بینی نمی‌کنند (۱). مطالعه انجام شده در رودخانه‌های جنوب غربی ایالات متحده نشان دهنده حرکت پله‌ای رسوب به علت افت زیاد جریان است (۶). جریان‌های ایجاد شده در قسمت‌های ابتدایی رودخانه به خاک نفوذ می‌کند و از طرفی حرکت رسوب متأثر از سیلاب‌های مختلف و طول آبراه خواهد بود. به دلیل متغیر بودن غلظت رسوب در رابطه با دبی رودخانه‌های فصلی، داده‌های مفقود شده در این مورد را نمی‌توان به دقت برآورد کرد (۵). رواناب سالانه و دبی رسوب در

آزمایشگاهی انجام گرفته، می باشد.

### روابط تئوری

$\frac{Q_p}{\sqrt{(ss-1)gd_{50}^5}}$	عدد فرود ذره
$\frac{Q_p u_0}{gy^3}$	عدد فرود
$\frac{T_t y u_*^2}{Q_p S_0}$	نامشخص
$\frac{u_0 y}{v}$	عدد رینولدز
$\frac{v}{\omega_s y}$	عدد رینولدز ذره
$\frac{1}{u_0} \frac{y}{T_t}$	عدد غیر ماندگاری
$\frac{Q_s}{Q_p \cdot \rho (ss-1)}$	عدد بدون بعد رسوب

معادلات انتقال بار کف در شرایط دائمی جریان در شکل کلی به صورت های زیر قابل دسته بندی می باشند (۷).

$$Q_s = A_1 (Q - Q_c)^{B1} \quad (1)$$

$$Q_s = A_2 (V - V_c)^{B2} \quad (2)$$

$$Q_s = A_3 (S - S_c)^{B3} \quad (3)$$

$$Q_s = A_4 (\tau - \tau_c)^{B4} \quad (4)$$

$$Q_s = A_5 (\tau V - \tau V_c)^{B5} \quad (5)$$

$$Q_s = A_6 (VS - VS_c)^{B6} \quad (6)$$

که در آن Q دبی جریان، Q<sub>s</sub> دبی رسوب، V سرعت متوسط، τ تنش برشی، τV قدرت آبراهه، VS واحد قدرت آبراهه و S شیب کف و پارامترهای A<sub>1</sub> الی A<sub>6</sub> و B<sub>1</sub> الی B<sub>6</sub> پارامترهایی هستند که بستگی به خصوصیات جریان و رسوب دارند و C معرف مقادیر بحرانی.

متغیرهای مؤثر در انتقال رسوب تحت جریان سیلاب سریع (شرایط غیر دائمی) را می توان به صورت زیر در نظر گرفت.

$\rho, \omega_s, u, u_0, d_{50}, T_t, T_p, (ss-1), S_0, Q_p, Q_s, \mu, y, h_0, g$   
g شتاب ثقل، h<sub>0</sub> عمق جریان پایه، y تفاوت عمق جریان پایه و حداکثر عمق، μ لزجت مطلق، Q<sub>s</sub> دبی رسوب، Q<sub>p</sub> دبی جریان، S<sub>0</sub> شیب کف، (ss-1) نسبت جرم مخصوص، T<sub>p</sub> زمان دوام جریان حداکثر، T<sub>t</sub> زمان پایه هیدروگراف، d<sub>50</sub> قطر متوسط ذرات، u<sub>0</sub> سرعت جریان پایه، u سرعت جریان، ω<sub>s</sub> سرعت سقوط ذره، ρ جرم مخصوص آب.

آنالیز ابعادی به روش بوکینگهام پای برای تعیین گروه های بدون بعد مؤثر بر انتقال رسوب مورد استفاده قرار گرفت، که منتهی به روابط زیر شد.

گروه های فوق هر کدام داری مفهوم خاصی بوده که مهمترین آنها گروه بدون بعد  $\Gamma_H = \frac{y}{T_t} / u_0$  است که به عنوان گروه غیر ماندگاری شناخته می شود. در جریان های غیر دائمی عدد غیر ماندگاری تفسیر کننده شرایط جریان از نظر انتقال رسوب می باشد. و به مفهوم تغییرات زمانی عمق جریان یا شیب شاخه صعودی هیدروگراف جریان به سرعت جریان پایه می باشد. هندرسون استفاده از سرعت برشی (u\*) بجای سرعت متوسط پایه (u<sub>0</sub>) توصیه کرده است (۲). در این آزمایش ها از سرعت متوسط جریان پایه استفاده شده است.

### روش کار

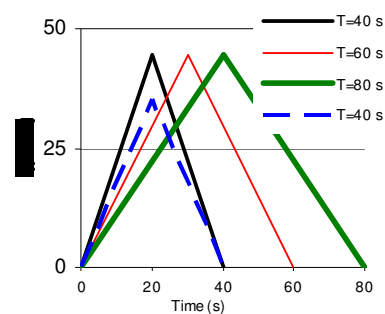
در این تحقیق از یک کانال آزمایشی، مستطیلی به طول ۱۰ متر ارتفاع ۵۰ سانتیمتر و عرض ۳۰ سانتیمتر بادیواره های شیشه ای که امکان دیدن جریان را در هنگام آزمایش فراهم می سازد، استفاده شد. کف کانال از جنس فلز صیقلی و رنگ

تغذیه رسوب از بالادست وجود نداشت. میزان باررسوبی کف خارج شده از بازه مورد آزمایش در انتهای کانال جمع آوری و توزین می گردید. شیب های انتخابی ۰/۰۰۶، ۰/۰۱۴ و ۰/۰۱۸ بودند. به دلیل کوتاه بودن زمان انجام آزمایش برای ثبت عمق جریان با زمان در طول آزمایش در نقاط مختلف بستر از روش عکس برداری دیجیتال استفاده شد (شکل ۲). برای تعدادی از آزمایش ها، توپوگرافی بستر پس از عبور هیدروگراف توسط پوینت گیج برداشت شد، و با به کارگیری نرم افزار سورفر خطوط تراز رسم گردید (شکل ۳). طول بستریا به کارگیری حداکثر دبی قابل تولید با انجام چند آزمایش به دست آمد. تغییرات در طولی برابر ۱ متر صورت گرفت اما طول بازه بستر متحرک، ۲ متر انتخاب شد. در پایین دست بستر متحرک بستری با همان دانه بندی اما غیر متحرک به طول ۲ متر نیز اضافه شد تا اختلاف زبری بستر متحرک و کف کانال از بین برود. سیستم آرام کننده شرایط تلاطمی جریان در محل ورود جریان به داخل کانال نصب و بستر متحرک در فاصله یک متری بعد از آن قرار داده شد. تغییرهای دبی بین ۳۵/۲ تا ۴۴/۳ لیتر بر ثانیه بر متر بود.

### پارامترهای هیدرولیکی

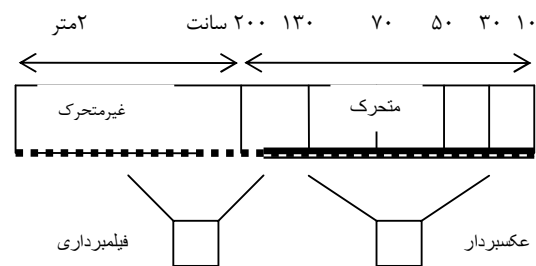
از آن جا که تجهیزهای لازم برای ثبت پارامترهای هیدرولیکی متغیر با زمان نظیر سرعت و دبی در طی عبور جریان موجود نبود، معادلات دینامیکی جریان در شرایط غیر ماندگار به روش عددی حل و با استفاده از یک برنامه کامپیوتری تغییرات زمانی پارامترهای مورد نیاز به دست آمد. بدین منظور با تغییر مقدار ضریب زبری بستر  $n$  در مدل سعی در یکسان سازی مقدار بیشترین عمق به دست آمده از مدل و اندازه گیری شده در آزمایشگاه گردید. به این روش مقدار  $n$

شده بود، همچنین کانال دارای قابلیت شیب پذیری بوده و سیستم اندازه گیری دبی در آن روزنه کالیبره شده است. برای تولید جریان غیرماندگار یک تانک در مسیر سیستم مدار بسته جریان به کانال قرار داده شد، با نصب ابزار لازم در سیستم تانک امکان تولید جریان غیر ماندگار (هیدروگراف) به ازاء هر زمان پایه مورد نیاز فراهم آمد. نمونه هیدروگراف های تولیدی در (شکل ۱) مشاهده می شود.



(شکل ۱) - شمای هیدروگرافهای تولیدی

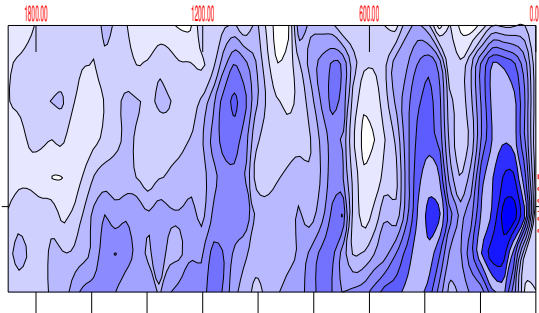
ذرات به کار رفته در آزمایش ها از جنس مصالح رودخانه ای که توسط الک استاندارد و بروش آس تی ام ۱ دانه بندی شد. قطر متوسط برای سه نوع دانه بندی برابر ۱/۵، ۲/۱ و ۳ میلی متر. ضریب یکنواختی (Cu)، ۱/۱ وضخامت بار بستر حدود ۴۵ میلی متر انتخاب شد.



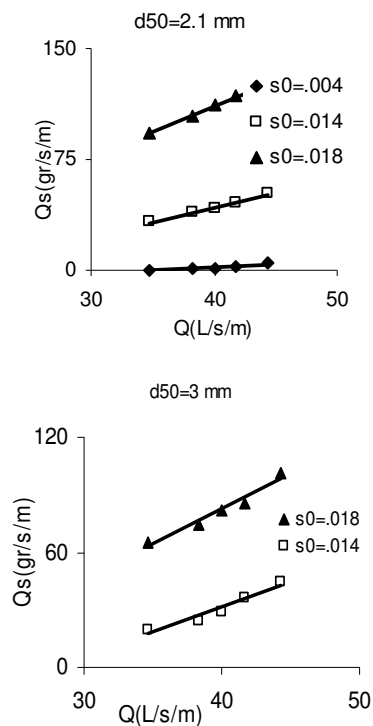
(شکل ۲) - موقعیت قرار گیری دوربین ها

در این آزمایش ها جریان آب صاف در کانال برقرار و

نسبت شیب کمتر دارد به هر صورت مؤید نتیجه گیری قبلی است. چنانچه نتایجی در مورد شیب‌های کمتر موجود بود این نکته بهتر روشن می‌گردد که روند افزایش دبی رسوب برای تمام شیب‌ها یکسان نیست. با توجه به کم بودن مقادیر دبی حداکثر هیدروگراف‌های انتخابی حساسیت شیب در نتایج اخیر واضح تر می‌باشد.



(شکل ۳) - فرم بستر در آزمایش نمونه



(شکل ۴) - مقایسه میزان دبی بارکف الف - قطر ۲/۱ میلیمتر

ب - قطر ۳ میلیمتر برای نسبت‌های یکسان ( $h_0/d_{50}$ )

(ضریب مانینگ) برای هر یک از آزمایش‌ها به‌طور جداگانه محاسبه شد.  $n$  به‌دست آمده از مدل مربوط به حالتی است، که بیشترین عمق‌ها با هم مقایسه شدند. برای سایر اعماق یا به عبارتی برای نقاط دیگر هیدروگراف مقدار  $n$  نیز کنترل گردید، که خطای ناچیز مشاهده شد، لذا از بیان جزئیات به علت محدودیت مطلب خوداری می‌شود. بنابراین تغییرهای زمانی سرعت، دبی، عمق جریان و غیره به‌دست آمد.

برای مقایسه میزان دبی رسوب در شرایط دائمی و غیردائمی ابتدا دبی بارکف در شرایط ماندگار برای دو زمان متفاوت ۶۰۰ و ۹۰۰ ثانیه (مقادیر انتخابی بیش از ۱۰ برابر بیشترین زمان پایه هیدروگراف انتخابی می‌باشد) اندازه گیری شد، دبی متوسط بارکف برابر ۲۵/۲ گرم بر ثانیه بر متر به‌دست آمد و به عنوان دبی بارکف در شرایط دائمی در نظر گرفته شد.

## نتایج و بحث

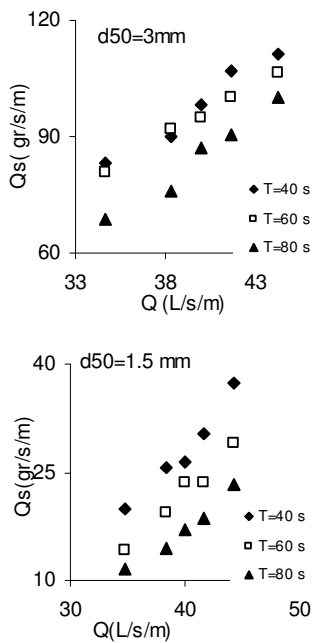
### شیب بستر

در آزمایش‌های اخیر سه شیب ۰/۰۱۸، ۰/۰۱۴ و ۰/۰۰۶ در انتخاب و در هر شیب میزان دبی متوسط رسوب انتقالی در واحد عرض بستر به‌ازاء تغییرهای دبی واحد عرض اندازه‌گیری شد. نتایج برای دو سری از دانه بندی با قطر ۲/۱ و ۳ میلیمتر در (شکل ۴) الف و ب تنظیم شده است. در (شکل ۴) الف ملاحظه می‌شود به‌ازاء یک دبی واحد عرض معین اختلاف در میزان دبی رسوب انتقالی به‌شدت با افزایش شیب افزایش می‌یابد. هر چند که روند هر سه سری آزمایش با افزایش میزان دبی حداکثر هیدروگراف افزایشی بوده اما نرخ افزایش دبی رسوب در شیب‌های بیشتر بزرگتر نشان می‌دهد. در (شکل ۴) ب نیز مقایسه‌ای جهت دو شیب ۰/۰۱۸ و ۰/۰۱۴ برای دانه بندی با قطر ۳ میلیمتر مجدداً رسم شد، که مطالب قبلی را تأیید می‌کند. روند افزایشی میزان رسوب انتقالی در شیب بیشتر با این‌که افزایش نامحسوسی

**زمان پایه هیدروگراف  $T_R=T_D$**

در یک زمان پایه معین با کاهش زمان پایه هیدروگراف میزان دبی بارکف بیشتری شود. افزایش قابل توجه رسوب انتقالی در ذرات با اندازه ۳ میلیمتر مربوط به اختلاف شیب در دو آزمایش می باشد. به هر حال آن چه اهمیت می یابد این است که با طولانی شدن زمان پایه دبی متوسط بارکف کاهش خواهد داشت. اگر مدت زمان افزایش جریان سیل بیش از زمان نزول آن باشد مقدار رسوب بیشتری انتقال خواهد یافت. چنان که برای هیدروگراف هایی با دبی حداکثر یکسان، زمان افزایش جریان ( $T_R$ ) و زمان کاهش

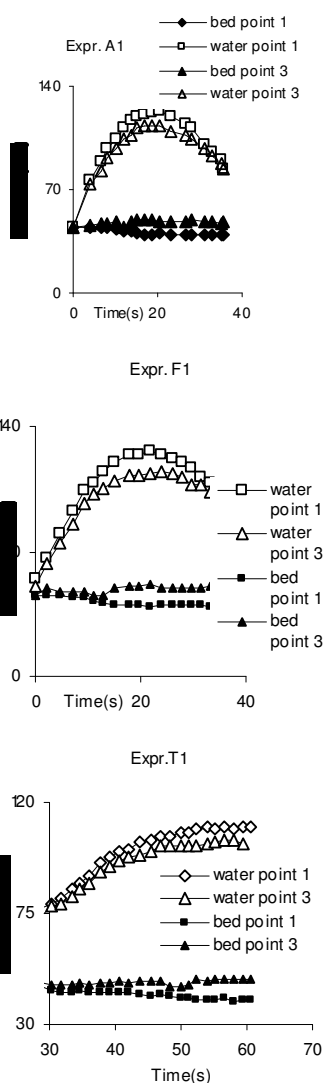
زمان پایه هیدروگراف به عنوان یکی از مهمترین عوامل موثر در پروسه انتقال رسوب در شرایط غیرماندگار مطرح است. بیشتر بررسی های میدانی نشان می دهد جریان های رخ داده در مسیل ها از نوع سیلاب ناگهانی با زمان پایه کوتاه که عمدتاً منشأ رگباری دارند و اثرات مخربی را می توانند به بار آورند، بوده است. در آزمایش های انجام گرفته توسط گراف و سوسکا (۲)، گریفیتس و سوترلند (۲)، فیلیپ و سوترلند لی کان تون (۴) زمان پایه های متفاوتی برای هیدروگراف های تولیدی انتخاب شده اند (نقل از ۴). که محدوده آن ها از ۱ تا ۴۲۰ دقیقه متغیر بوده است. نتایج اندازه گیری های میدانی اییان رید (۸) در منطقه ای در فلسطین اشغالی نشان داد که رگبارهای وقوع یافته ممکن است سیلاب هایی را در مدت کوتاهی به وجود آورد (۸). از سویی با توجه به محدوده دبی های در نظر گرفته شده در آزمایش های لی ۲۰۰۳ بین ۰/۰۶۸ تا ۰/۳۳ متر مکعب بر ثانیه بر واحد عرض به نظر می رسد که تغییرهای دبی با توجه به دبی حداکثر و زمان پایه، بسیار کند بوده که این شرایط نمی تواند معرف یک جریان غیرماندگار باشد (سوترلند ۱۹۹۰ نقل از ۴). همچنین با مقیاس های در نظر گرفته شده سیل های انتخابی در شرایط طبیعی دارای زمان پایه خیلی طولانی هستند که این شرایط با نتایج ثبت شده توسط اییان رید ۱۹۹۸ کاملاً مغایرت دارد. از این دیدگاه و با توجه به زمان شکل گیری سیلاب های سریع در طبیعت زمان های پایه انتخابی در آزمایش های اخیر ۴۰، ۶۰ و ۸۰ ثانیه انتخاب شد (چنانچه تغییرهای زمانی بستر مد نظر باشد و نه شرایط تعادل، انتخاب مقیاس زمانی رسوب گذاری قابل صرف نظر است) (۴). (شکل ۵) روند تغییرات بار کف را در برابر دبی جریان برای دو نوع دانه بندی و زمان پایه متفاوت نشان می دهد. از شکل ۵ به خوبی مشخص است، با افزایش زمان پایه دبی بارکف برای هر سه زمان انتخابی بیشتر می گردد و



(شکل ۵) - دبی متوسط بار کف در برابر دبی جریان در دو نوع دانه بندی

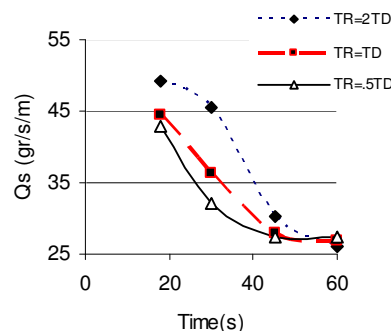
جریان ( $T_D$ ) بر شکل موج ایجاد شده مؤثر بوده و این موضوع (شکل موج با پیشانی تیز و یا پخ دار) بر فرسایش اولیه بستر و جابه جایی ذرات نقش بسیار مهمی ایفاء می کند. به عبارتی نسبت افزایش عمق جریان به زمان پایه شیب شاخه صعودی هیدروگراف جریان را مشخص می کند، که این شیب بر میزان دبی رسوب مؤثر خواهد بود. بنابراین آزمایش هایی برای نشان دادن اثر زمان پایه هیدروگراف بر

(جدول ۱) در ستون n آزمایش، درج شده است. اختلاف مقادیر به دست آمده برای n در دو ستون آخر (جدول ۱) که به طور نمونه برای تعدادی از آزمایش‌ها آورده شده است، حاکی از افزایش ضریب زبری بسترنسبت به ضریب زبری ذرات بوده که به دلیل تغییر فرم کف گردیده است. این شرایط در بسترهای تغییر پذیر در انتقال بار کف و مقاومت ایجاد شده در برابر جریان اثر مهمی دارند. (شکل ۷) که برای سه آزمایش ترسیم گردیده،



(شکل ۷) - تراز سطح آب و کف کانال در آزمایشات نمونه

روند انتقال رسوب انجام شد. در (شکل ۶) تغییرات دبی بارکف برای سه حالت متفاوت از زمان افزایش و کاهش هیدروگراف ترسیم شده است. نتایج نشان می‌دهد افزایش زمان پایه در هنگام صعود جریان می‌تواند بر انتقال رسوب مؤثرتر نسبت به زمان کاهش آن باشد.



(شکل ۶) - تغییرات رسوب برحسب تفاوت زمان پایه

### زبری بستر

بخشی از مومتم جریان با ورود آن به بستری که ذرات کف در آن به عنوان بار کف منتقل می‌شود به ذرات منتقل گشته موجب حرکت آن‌ها و برخوردشان به ذرات دیگر درون آب و روی بستر شده کاهش مومتم و کاهش سرعت جریان و نیز افزایش مقاومت بستر در برابر جریان را به وجود می‌آورد، که آن را اصطلاحاً مقاومت ناشی از انتقال بار کف و تغییر شکل بستر می‌نامند. مقاومت کل روی بستر را به مقاومت مربوط به تماس جریان با ذرات و مقاومت مربوط به تغییر فرم بستر تقسیم می‌کنند. از آنجا که اندازه‌گیری مقاومت مربوط به تغییر شکل بستر مستقیماً امکان پذیر نیست، از این رو با برآورد مقاومت کل ایجاد شده در بستر و مقاومت ناشی از اصطکاک ذرات می‌توان مقاومت ناشی از تغییر فرم بستر را به دست آورد. روش‌های متفاوتی برای تعیین ضریب زبری ذرات وجود دارد که در این مطالعه مقدار آن مستقیماً در آزمایشگاه به دست آمد. مقادیر n در

برحسب مقدار پارامتر  $\psi$  که تابعی از قطر ذرات، شعاع

$$\psi = \frac{(Ss-1)d}{R_h \cdot S_f} \quad (7)$$

در سه بازه به صورت زیر تعریف شده که برای هر بازه رابطه در فرم نسبتی از رسوب در شرایط غیردائمی به رسوب در

شرایط دائمی ارائه شده است. اگر  $\psi \leq 14.6$

$$\frac{C}{C_0} = \frac{u^\alpha}{(\Omega R_h)^\beta} \quad (8)$$

$u$  سرعت جریان،  $R_h$  شعاع هیدرولیکی،  $\Omega = 1 + \frac{2}{b_*}$

و  $b_* = b/y$  که  $b$  عرض کانال و  $y$  عمق جریان،  $d$  قطر

متوسط ذرات،  $C$  بارکف در شرایط غیردائمی و  $C_0$  بار کف

در شرایط دائمی. مقدار  $\psi$  برای نتایج آزمایش‌های

اخیر همواره کوچکتر از  $14/6$  می باشد، بنابراین رابطه ۸

جهت مقایسه انتخاب و نسبت دبی در دو حالت غیر دائمی

به دائمی برای آزمایش‌های اخیر به طور متوسط برابر  $1/41$

واز آن ضرایب رابطه فوق بر حسب شیب اصلاح شد.

تذکر: از آوردن سایر روابط سونگ و گرف خوداری

شده است.

اختلاف تراز سطح جریان و بستر را در دو نقطه ۳ و ۱ در

طی عبور هیدروگراف نشان می دهد، چنان که ملاحظه

می شود همواره تراز سطح آب در ابتدای بستر به دلیل

بیشتر بودن مقاومت کف بیشتر از نقطه ۳ می باشد. همچنین

ملاحظه می گردد فرسایش بستر در ابتدای آن به مراتب بیشتر

از سایر نقاط است. توضیحا اضافه می نماید در تمام

آزمایش‌ها دبی حداکثر هیدروگراف‌ها یکسان بوده، و سایر

شرایط در (جدول ۱) آمده است.

### دبی رسوب

نتایج مطالعات انجام شده توسط بیشتر محققان ذکر شده

در بخش مرور منابع حاکی از بیشتر بودن مقدار رسوب

انتقالی در شرایط غیردائمی جریان نسبت به شرایط دائمی

می باشد. نتایج مطالعات نشان می دهد نسبت دبی رسوب

(بارکف) در شرایط غیردائمی به دبی رسوب در شرایط

دائمی تقریباً  $1/6$  می باشد که این نتایج در آزمایش‌های

اخیر (جدول ۲) در حدود  $1/41$  می باشد.

از طرفی سونگ و گرف ۲۰۰۴ طی انجام تحقیقات

آزمایشگاهی رابطه‌ای برای برآورد میزان بارکف انتقالی در

شرایط غیرماندگار جریان ارائه نمودند (۹)، این رابطه

(جدول ۱) - مقادیر  $n$  نمونه

No.	قطر mm	شیب	زمان sec	دبی رسوب gr/s/m	استریکلر $n$	$n$ آزمایش	$n$ مدل
F1	1.5	.006	40	37.5	.016	.0169	.026
K1	1.5	.006	60	29.2	.016	.0169	.0247
P1	1.5	.006	80	23.4	.016	.0169	.0241
U1	1.5	.006	40	39.8	.016	.0169	.0285
F2	2.1	.006	40	10	.0169	.0174	.024
K2	2.1	.006	40	12	.0169	.0174	.0219
P2	2.1	.006	40	11.8	.0169	.0174	.0209
U2	2.1	.014	40	52	.0169	.0174	.0296
Z2-1	2.1	.018	40	125	.0169	.0174	.0399
A3	3	.014	40	44.7	.018	.021	.0241



(جدول ۲) - نسبت دبی رسوب در حالت غیر دائمی به دائمی

C	C/C <sub>0</sub>	C	C/C <sub>0</sub>	C	C/C <sub>0</sub>
62.12	2.46	57.6	2.28	16.1	0.63
60	2.38	42.2	1.67	17.53	0.69
31.5	1.25	33.3	1.32	20.5	0.81
44.4	1.76	48.8	1.93	38.2	1.51
33.8	1.34	26.1	1.03	29.4	1.16
55.11	2.18	40.6	1.61	33.6	1.33
29.7	1.17	48.8	1.93	30.4	1.2
25.2	1	34.6	1.37	38	1.5
25.6	1.01	29.5	1.17	33.4	1.32
32.64	1.29	13.9	0.55	Average	1.41

آنالیز ابعادی گروه های بدون بعد منتهی به رابطه مناسبی بین عوامل مؤثر بر انتقال رسوب و دبی رسوب (بارکف) گردید. ضرایب این رابطه در شیب های مختلف متفاوت به دست آمد که نشان می دهد شیب نقش تعیین کننده ای بر جریان رسوب داشته و نقش سایر عوامل را تحت تاثیر قرار می دهد.

$$Qs = \frac{K * Q_p^{\alpha_1} * y^{\alpha_2}}{T^{\alpha_3} * \omega_s^{\alpha_4} * u_0^{\alpha_5} * d_{50}^{\alpha_6}} \quad (9)$$

در معادله فوق (۹) ضریب ثابت،  $Q_p$  دبی حداکثر هیدروگراف سیلاب، لایشرین عمق جریان،  $T$  زمان پایه هیدروگراف،  $\omega_s$  سرعت سقوط ذرات در حالت مستغرق،  $u_0$  سرعت جریان پایه،  $d_{50}$  قطر متوسط ذرات بستر می باشد. پارامترهای  $K, d, u_0, \omega_s$  مقادیر مشخص برای هر آبراهه می باشند.

(جدول ۴) - ضرایب مدل انتقال رسوب (رابطه ۹)

شیب	K	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$
.006	.117	1.5	.3	.8	.11	.65	1
.014	.121	1.87	-.39	1	.087	.567	1.1
.018	.921	1.23	-.25	.21	.035	.093	3

### نتیجه

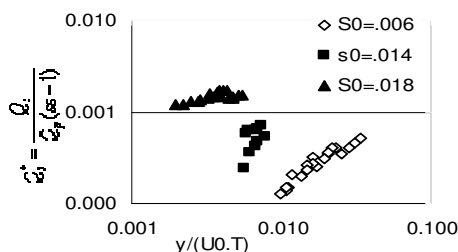
مجموعه آزمایش های یک فلوم آزمایشگاهی شبیه

(جدول ۳) - مقادیر ضرایب رابطه گراف

مرجع	$\alpha$	$\beta$
گراف ۱۹۹۸	4	$\frac{11}{6}$
این تحقیق	U2	$\frac{9}{6}$
	A3	$\frac{9}{6}$

### مدل انتقال بار کف

برای مشخص نمودن همبستگی گروه های بدون بعد مستقل و گروه وابسته رابطه رگرسیونی بین هریک از گروه ها در هر سه شیب انتخابی انجام شد. نتایج نشان داد، مقادیر به دست آمده برای هر گروه شیب به طور کاملاً مجزا قرار می گیرند و باید نتایج بر اساس مقدار شیب دسته بندی گردند. (شکل ۸) بطور نمونه رابطه یکی از گروه های بدون بعد (غیر ماندگاری) و گروه وابسته را نشان می دهد.



(شکل ۸) - همبستگی نتایج برای سه شیب انتخابی

سونگ و گراف (۹) با اصلاحاتی با نتایج به دست آمده در این تحقیق هماهنگی نشان داد. مدل به دست آمده به روش آنالیز ابعادی در این تحقیق می تواند مبنایی برای پیش بینی بار کف در آبراهه های فصلی باشد. از سوی دیگر ضرایب (رابطه ۹) بستگی به شیب بستر دارد.

سازی شده برای بررسی عوامل مؤثر بر انتقال رسوب در رودخانه فصلی نشان می دهد. شیب بستر نقش تعیین کننده ای بر انتقال رسوب دارد. با افزایش زمان پایه هیدروگراف دبی رسوب روند کاهشی نشان می دهد. نسبت دبی رسوب در شرایط غیرماندگار به شرایط ماندگار هماهنگی خوبی با نتایج لی (۴) نشان می دهد. همچنین رابطه

## منابع

- 1- Abrahart, R.J., White, S.M. 2001. Modeling sediment transfer in Malawi: Comparing back propagation neural network solutions against a multiple linear regression benchmark using small data set. *Phys Chem Earth B*.26(1):19-24
- 2- Graf, W.H., and Suszka, L. 1985. Unsteady Flow and its Effect on Sediment Transport. 21<sup>st</sup> IAHR congress Melborn
- 3- Lane, L.J., Hernandez M., and Nichols, M. 1997. Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of spatial scale. *Environmental Modeling and Software* 12: 355-369.
- 4- Lee, Kwan.tun., Liu, Ya-Liang., and Cheng, Kai-Hung. 2003. Experimental Investigation of bedload transport processes under unsteady flow conditions. *Hydrological processes*
- 5- Rankl, j.G. 1987. Analysis of sediment production form two small semiarid basins in Wyoming: U.S. Geological Survey Water Resourcess Investigation Report 85-4314,27p
- 6- Renard, K.G., and E.M. Laursen. 1975 . adynamic behavior model of an ephemeral stream . J. hydraulics. Div.ASCE 101(HY5):51-528
- 7- Raudkivi, J.Arved. 1998. Loose boundary Hydraulics.A.A.Balkema/Rotterdam/ Brookfield.
- 8- 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*
- 9- Song, T., and Graf, W.H. 1998. Velocity and Turbulence Distribution in unsteady Open channel Flows. *J. Hr. Eng. Vol. 122, No. 3*
- 10- Woolhiser, and Todor, ovic. 1974. Relations Between Total-Sediment Load and Peak Discharge for Rainstorm Runoff on Five Ephemeral stream. *Water resources investigation report. 02-4150*

## A model for predicting the bed load in ephemeral rivers

K.Esmaili\* – M.shafai Bajestan –M.kashefipour<sup>1</sup>

### Abstract

To investigate the effective parameters and simulate the conditions under which sediments are transported in ephemeral rivers and compare it to perennial rivers a series of experiments were performed in a laboratory flume. The hydrodynamic equations were solved for initial and boundary conditions using numerical method. Triangle hydrographs with time duration of 40, 60 and 80 seconds and five different flow rates for each situation were considered. Three slopes of 0.006, 0.014 and 0.018 were selected. A fine and uniform sand with d50 of 1.5, 2.1 and 3 mm from river materials was used as the mobile bed. Clean water (with no sediment) was used. The results of 85 experiments showed that the bed slope was the most important parameter in sediment transportation and it could be used for predicting the sediment transport. The base time of hydrograph was also found to have an effective role in sediment transport, and the results showed that by increasing the base time the transported sediment was decreased. The bed form had a big role on the flow resistance and also affected the sediment transport. The sediment ratio of unsteady to steady flow found in this research was found to be similar with those of Tun Lee.

**Key words:** Ephemeral rivers, Perennial rivers, Bed load, Sediment

---

\* - Corresponding author Email: kazem.Esmaili@gmail.com

1 - Contribution from College of Agricultr, Ferdowsi University and Chamran University