

بررسی عوامل مؤثر بر شرایط انتقال رسوب در رودخانه فصلی و مقایسه آن با رودخانه دائمی

فرید کرمی گوزی^۱

۱- گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۵

چکیده

با هدف بررسی عوامل مؤثر بر شرایط انتقال رسوب در رودخانه فصلی و مقایسه آن با رودخانه دائمی مجموعه‌ای از اطلاعات آزمایشگاهی جمع‌آوری و مورد بررسی واقع گردید. جهت برآورد پارامترهای هیدرولیکی جریان، معادلات هیدرودینامیکی جریان با توجه به شرایط هندسی بستر و شرایط اولیه مرزی جریان به روش عددی حل مورد تحلیل قرار گرفت. هیدروگراف‌ها با زمان دوام مختلف و چند دبی متفاوت در هر حالت بررسی شد. شیب کف انتخاب شد. دانه بندی با قطر ذرات غیر یکسان از مواد رودخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مقایسه داده‌های آزمایشگاهی تغذیه رسوب نشان داده شده و نتایج حاصل از ۸۵ آزمایش رسوب در حالات مختلف مورد بررسی واقع گردید. نشان داده شد که زمان پایه هیدروگراف نیز نقش موثری بر میزان رسوب انتقالی دارد، و با افزایش زمان پایه دبی رسوب انتقالی کاهش می‌یابد. شیب کف مهمترین عامل در انتقال رسوب است، و جداسازی روابط پیش‌بینی رسوب براساس آن امکان پذیر می‌باشد. فرم بستر نقش زیادی در مقاومت ایجادشده 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 مقایسه و در این مطالعه با نتایج لی کان تون (Leekwan.tun) هماهنگی خاصی نشان می‌دهد. [۴]

کلمات کلیدی: انتقال رسوب، هیدروگراف، شیب کف، رودخانه فصلی

مقدمه

طبیعی را در راستای خصوصیات خود کنترل می‌کند. از این رو مشاهده می‌شود ویژگی هرپدیده، مثلا، بارش به صورت برف یا باران در شرایط اقلیمی مختلف، متفاوت است. این تفاوت مشخصه‌های طبیعی هر ناحیه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین نوع بارش در مناطق استوایی به صورت باران‌های سیل آسا و طولانی مدت و در مناطق نزدیک قطب همواره بارش اصلی برف می‌باشد. آبراهه‌ها نیز از نوع بارش تأثیری پذیرند. در نواحی پر باران معمولا 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

هرچند که رودخانه‌های فصلی نسبتا از ارزش اقتصادی پایین تری برخوردار هستند، اما رویکردهای جدید در علوم مهندسی رودخانه توانسته بسیاری از ارزش‌های ناشناخته این آبراهه‌ها را شناسایی کند. مثلا بستر این رودخانه‌ها و حواشی آن محل مناسبی برای پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی است. و یا 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. وضعیت اقلیمی مناطق مختلف کره زمین سیستم‌های

حاصل از رگبارهای سالانه می‌باشد. ولپیسرز و تودوروویچ 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].

ایبان رید و همکاران^۱ اثر جریان سیلاب سریع را در مورد انتقال بار کف در آبراهه‌های بیابانی با احداث یک بازه تحقیقاتی مونتوریگ 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 آزمایشگاهی انجام گرفته، می‌باشد.

جهت رودخانه‌ها را به دودسته کلی رودخانه‌های دائمی و فصلی تفکیک می‌نمایند.

بار رسوبی کف در 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. 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.

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 آبراهه 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 ودبی رسوب در رودخانه‌های فصلی عبارتند از جمع یک سری از رواناب‌های جدا و مستقل. بنابراین رویکرد موجود برای برآورد رسوب سالانه تجمیع رسوب

^۱ Reid et al., 1998

مواد و روش ها

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

$\frac{Q_p}{\sqrt{(ss-1)gd_{50}^3}}$	عدد فرود
$\frac{Q_p u_0}{gy^3}$	عدد فرود ذره
$\frac{T_t y u_*^2}{Q_p S_0}$	نامشخص
$\frac{u_0 y}{\nu}$	عدد رینولدز
$\frac{\nu}{\omega_s y}$	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

روابط تئوری

متغیرهای مؤثر در انتقال رسوب تحت جریان سیلاب سریع (شرایط غیر دائمی) را می‌توان 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_0 عمق جریان پایه، y تفاوت عمق جریان پایه و حداکثر عمق، μ لزجت مطلق، Q_s دبی رسوب، Q_p دبی جریان، S_0 شیب کف، $(ss-1)$ نسبت جرم مخصوص، T_p زمان دوام جریان حداکثر، T_t زمان پایه هیدروگراف، d_{50} قطر متوسط ذرات، u_0 سرعت جریان پایه، u سرعت جریان، ω_s سرعت سقوط ذره، ρ جرم مخصوص آب.

معادلات انتقال بارکف در شرایط دائمی جریان در شکل کلی به صورت های زیر قابل دسته بندی می‌باشند [۷].

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

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

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

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

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

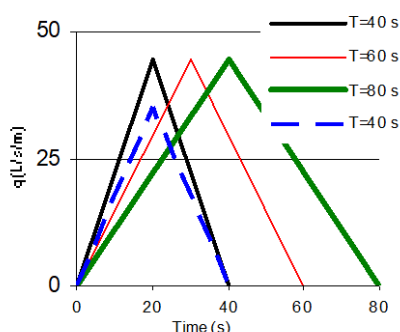
$$Q_s = A_6 (VS - VS_c)^{B6} \quad (6)$$

گروه‌های 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 می‌شود. در جریان های غیر دائمی عدد غیرماندگاری تفسیر کننده شرایط جریان از نظر انتقال رسوب می‌باشد. و به مفهوم تغییرات زمانی عمق جریان یا شیب شاخه صعودی هیدروگراف جریان به سرعت جریان پایه می‌باشد. هندرسون استفاده از سرعت برشی (u^*) بجای سرعت متوسط پایه (u^0) توصیه کرده است [۲]. در این آزمایش‌ها از سرعت متوسط جریان پایه استفاده شده است.

که در آن Q دبی جریان، Q_s دبی رسوب، V سرعت متوسط، τ تنش برشی، τV قدرت آبراهه، VS واحد قدرت آبراهه و S شیب کف و پارامترهای A_1 الی A_6 و B_1 الی B_6 پارامترهایی هستند که بستگی به خصوصیات جریان و رسوب دارند و C معرف مقادیر بحرانی می باشد.

روش کار

با همان دانه بندی اما غیر متحرک به طول ۲ متر نیز اضافه شد بود 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 شده بود. تغییرهای دبی بین ۳۵/۲ تا ۴۴/۳ لیتر بر ثانیه بر متر بود.



شکل ۱. شمای هیدروگرافهای تولیدی

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 را به دست آورده اند. 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 شده است. به این روش مقدار n (ضریب مانینگ) برای هر یک از آزمایشها به طور جداگانه محاسبه شده. n به دست آمده از مدل مربوط به حالتی است، که بیشترین عمقها با هم مقایسه شده اند. برای سایر اعماق یا به عبارتی برای نقاط دیگر هیدروگراف مقدار n نیز کنترل گردیده است، که خطای ناچیز مشاهده گردید. بنابراین تغییرهای زمانی سرعت، دبی، عمق جریان و غیره به این روش قابل اندازه گیری است.

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 می باشد) اندازه گیری شده، سپس دبی متوسط بارکف را

ذرات به کار رفته در آزمایشهای مورد بررسی از جنس مصالح رودخانه‌ای که توسط الک استاندارد و بروش آس تی ام دانه بندی شد. قطر متوسط برای سه نوع دانه بندی برابر ۱/۵، ۲/۱ و ۳ میلی‌متر. ضریب یکنواختی (Cu)، ۱/۱ وضخامت بار بستر حدود ۴۵ میلی‌متر انتخاب شده است.

در آزمایشها جریان آب در کانالهایی برقرار و تغذیه رسوب از بالا دست وجود نداشت. میزان بار رسوبی کف خارج شده از بازه مورد آزمایش در انتهای کانال جمع آوری و توزین می‌گردید. 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 و در نقاط مختلف بستر از روش عکس برداری دیجیتال استفاده شد (شکل ۲). برای تعدادی از آزمایشها، توپوگرافی بستر پس از عبور هیدروگراف توسط پوینت گیج برداشت شده، و در آزمایشهای مورد بررسی با به کارگیری نرم افزار سورفر آخطوط تراز رسم گردیده اند (شکل ۳). طول بستر با به کارگیری حداکثر دبی قابل تولید با انجام چند آزمایش به دست آورده اند. تغییرات در طولی برابر ۱ متر صورت گرفته است اما طول بازه بستر متحرک، ۲ متر انتخاب شده بود. در پایین دست بستر متحرک بستری

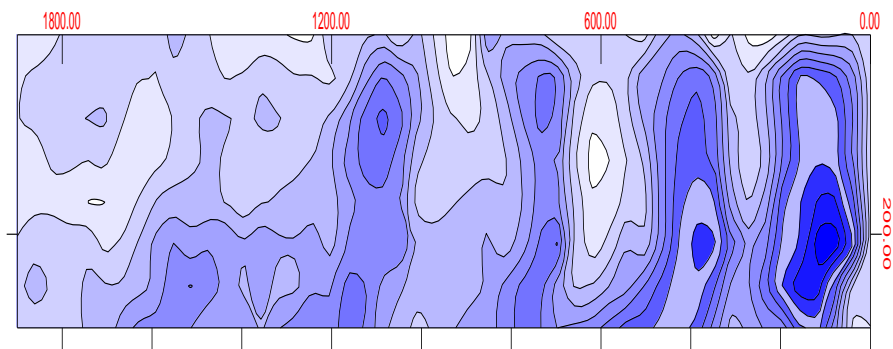
به شدت با افزایش شیب افزایش می‌یابد. هر چند که روند هر سه سری آزمایش با افزایش میزان دبی حداکثر هیدروگراف افزایشی بوده اما نرخ افزایش دبی رسوب در شیب‌های بیشتر بزرگتر نشان می‌دهد. در (شکل ۴ب) نیز مقایسه‌ای جهت دو شیب ۰/۰۱۴ و ۰/۰۱۸ برای دانه بندی با قطر ۳ میلی‌متر مجدداً رسم شده، که مطالب قبلی را تأیید می‌کند. روند افزایشی میزان رسوب انتقالی در شیب بیشتر با این که افزایش نامحسوسی نسبت شیب کمتر دارد به هر صورت مؤید نتیجه‌گیری 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 را بطور واضح تر نمایش داده‌اند.

برابر ۲۵/۲ گرم بر ثانیه بر متر به دست آورده اند و به عنوان دبی بار کف در شرایط دائمی در نظر گرفته شده است.

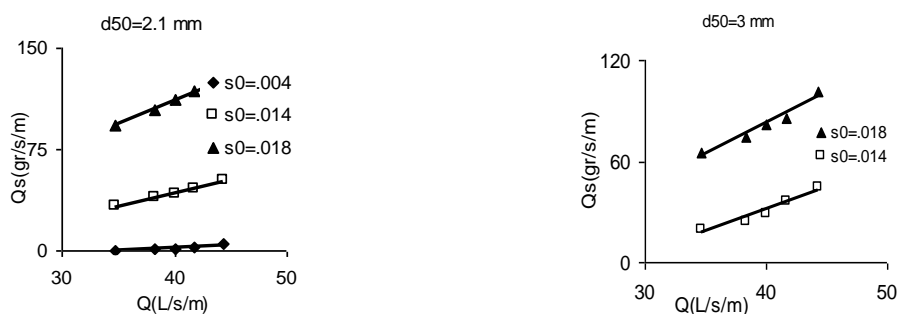
نتایج و بحث

شیب بستر

در بررسی‌هایی که بر روی آزمایش‌های اخیر با سه شیب ۰/۰۰۶، ۰/۰۱۴ و ۰/۰۱۸ انجام شد مشاهده گردید در هر شیب میزان دبی متوسط رسوب انتقالی در واحد عرض بستر به ازاء تغییرهای دبی واحد عرض اندازه‌گیری شده و نتایج برای دو سری از دانه بندی با قطر ۳ و ۲/۱ میلی‌متر در (شکل ۴) الف و ب تنظیم شده است. در (شکل ۴) الف ملاحظه می‌شود به ازاء یک دبی واحد عرض معین اختلاف در میزان دبی رسوب انتقالی



شکل ۳. فرم بستر در بررسی کار آزمایشی صورت گرفته



الف. قطر ۲/۱ میلی‌متر

ب. قطر ۳ میلی‌متر

شکل ۴. مقایسه میزان دبی بار کف برای نسبت‌های یکسان (h_0/d_{50})

زمان پایه هیدروگراف $T_R=T_D$

بیشتر بررسی های میدانی نشان می دهد جریان های رخ داده در مسیل ها از نوع سیلاب ناگهانی با زمان پایه کوتاه که عمدتاً منشاء رگباری دارند و اثرات مخربی را می توانند به بار آورند، بوده است. زمان پایه هیدروگراف به عنوان یکی از مهمترین عوامل مؤثر در پروسه انتقال رسوب در شرایط غیرماندگار مطرح است. در آزمایش های انجام گرفته توسط گراف و سوسکا [۲]، گریفیتس و سوترلند [۲]، فیلیپ و سوترلند لی کان تون زمان پایه های متفاوتی برای هیدروگراف های تولیدی انتخاب شده اند [۴]. که محدوده آن ها از ۱ تا ۴۲۰ دقیقه متغیر بوده است. نتایج اندازه گیری های میدانی ایبان رید در منطقه ای در فلسطین اشغالی نشان داد که رگبارهای وقوع یافته ممکن است سیلاب هایی را در مدت کوتاهی به وجود آورد [۸].

همچنین با توجه به محدوده دبی های در نظر گرفته شده در آزمایش های لی ۲۰۰۳ بین ۰/۰۶۸ تا ۰/۳۳ مترمکعب 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 ایبان رید ۱۹۹۸ کاملاً مغایرت دارد. با توجه به زمان شکل گیری سیلاب های سریع در طبیعت زمان های پایه انتخابی در آزمایش های مورد بررسی که توسط

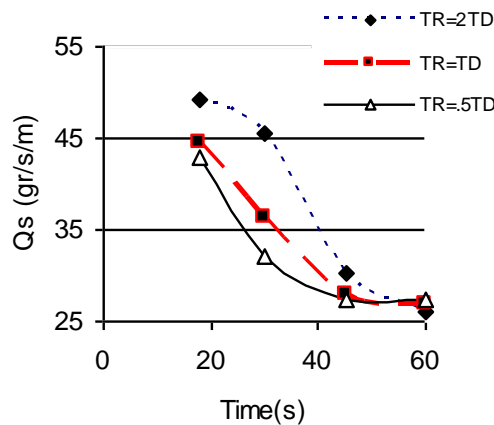
دیگران انجام شده اخیراً ۴۰، ۶۰ و ۸۰ ثانیه انتخاب شده (چنانچه تغییرهای زمانی بستر مد نظر باشد و نه شرایط تعادل، انتخاب مقیاس زمانی رسوب گذاری قابل صرف نظر است [۴]. (شکل ۵) روند تغییرات بار کف را در برابر دبی جریان برای دو نوع دانه بندی و زمان پایه متفاوت نشان می دهد. از شکل ۵ به خوبی مشخص است، با افزایش زمان پایه دبی بارکف برای هر سه زمان انتخابی بیشتر می گردد و 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 مورد بررسی می باشد. به هر حال آنچه 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 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 می توان گفت 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 روند انتقال رسوب مورد ارزیابی واقع شدند.



شکل ۵. دبی متوسط بار کف در برابر دبی جریان در دو نوع دانه بندی

هنگام صعود جریان می‌تواند بر انتقال رسوب مؤثرتر نسبت به زمان کاهش آن باشد.

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

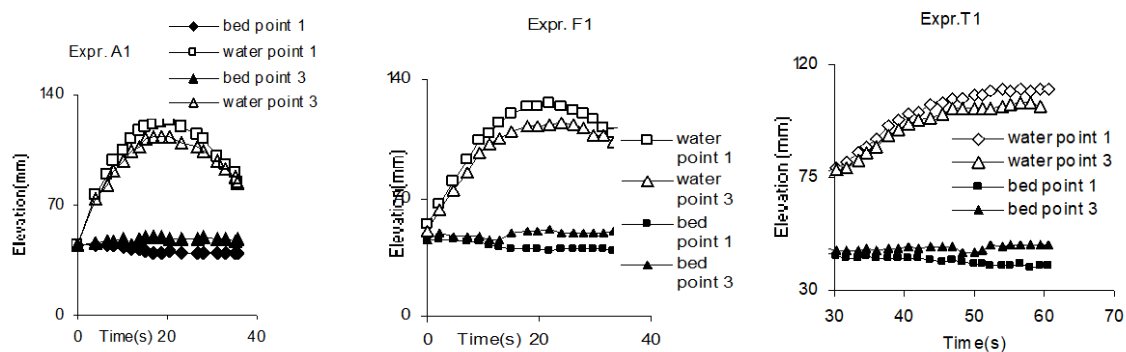


شکل ۶. تغییرات رسوب بر حسب تفاوت زمان پایه

است. اختلاف مقادیر به دست آمده برای n در دو ستون آخر (جدول ۱) که به طور نمونه برای تعدادی از آزمایش‌های مورد بررسی آورده شده است، حاکی از افزایش ضریب زبری بستر نسبت به ضریب زبری ذرات بوده که به دلیل تغییر فرم کف حاصل 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، اختلاف تراز سطح جریان و بستر را در دو نقطه ۳ و ۱ در طی عبور هیدروگراف نشان می‌دهد، چنان که ملاحظه می‌شود همواره تراز سطح آب در ابتدای بستر به دلیل بیشتر بودن مقاومت کف بیشتر از نقطه ۳ می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌گردد در آزمایش‌ها فرسایش بستر در ابتدای آن به مراتب بیشتر از سایر نقاط است. توضیحات اضافه می‌نماید در تمام آزمایش‌ها دبی حداکثر هیدروگراف‌ها یکسان بوده، و سایر شرایط در (جدول ۱) را بدست آورده اند.

زبری بستر

مقاومت کل روی بستر را به مقاومت مربوط به تماس جریان با ذرات و مقاومت مربوط به تغییر فرم بستر تقسیم می‌کنند. بخشی از مومنتم 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 مومنتم و کاهش سرعت جریان و نیز افزایش مقاومت بستر در برابر جریان را به وجود می‌آورد، که آن را اصطلاحاً مقاومت ناشی از انتقال بارکف و تغییر شکل بستر می‌نامند. از آن جا 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 بررسی نمونه کارهای آزمایشگاهی به دست خواهد آمد. مقادیر n در (جدول ۱) در ستون n آزمایش، درج شده



شکل ۷. توازن سطح آب و کف در آزمایش‌ها نمونه بررسی شده

جدول ۱. مقادیر n نمونه

No.	قطر	شیب	زمان sec	دبی رسوب	استریکلر n	n آزمایش	مدل n
	mm			gr/s/m			
F1	1.5	0.006	40	37.5	0.016	0.0169	0.026
K1	1.5	0.006	60	29.2	0.016	0.0169	0.0247
P1	1.5	0.006	80	23.4	0.016	0.0169	0.0241
U1	1.5	0.006	40	39.8	0.016	0.0169	0.0285
F2	2.1	0.006	40	10	0.0169	0.0174	0.024
K2	2.1	0.006	40	12	0.0169	0.0174	0.0219
P2	2.1	0.006	40	11.8	0.0169	0.0174	0.0209
U2	2.1	0.014	40	52	0.0169	0.0174	0.0296
Z2-1	2.1	0.018	40	125	0.0169	0.0174	0.0399
A3	3	0.014	40	44.7	0.018	0.021	0.0241

دبی رسوب

نسبت دبی رسوب (بارکف) در شرایط غیردائمی به دبی رسوب در شرایط دائمی تقریباً ۱/۶ می‌باشد که این نتایج در آزمایش‌های اخیر (جدول ۲) در حدود ۱/۴۱ می‌باشد.

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 می‌باشد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد

جدول ۲. نسبت دبی رسوب در حالت غیر دائمی به دائمی

C	C/C ₀	C	C/C ₀	C	C/C ₀
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

سرعت جریان، u شعاع R_h 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 ψ برای
 نتایج آزمایش‌های اخیر همواره کوچکتر از $14/6$ می‌باشد،
 بنابراین رابطه ۸ جهت مقایسه انتخاب و نسبت دبی در
 دو حالت غیر دائمی به دائمی برای آزمایش‌های اخیر
 به‌طور متوسط برابر $1/41$ و از آن ضرایب رابطه فوق بر
 حسب شیب اصلاح شد.

تذکر: از آوردن سایر روابط سونگ و گرف خوداری
 شده است.

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
 برحسب مقدار پارامتر ψ که تابعی از قطر ذرات، شعاع
 هیدرولیکی و شیب اصطکاکی است،

$$\psi = \frac{(Ss-1)d}{R_h S_f}$$
 در سه بازه به‌صورت 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 $\psi \leq 14.6$

$$\frac{C}{C_0} = \frac{u^\alpha}{(\Omega R_h)^\beta} \quad (۸)$$

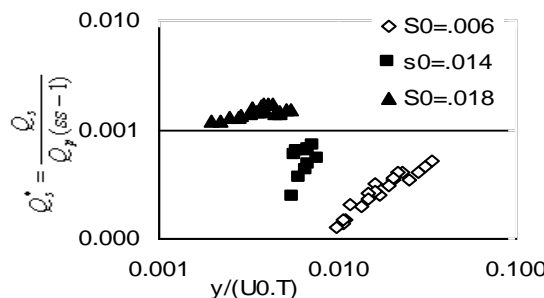
جدول ۳. مقادیر ضرایب رابطه گرف

مرجع		α	β
گرف ۱۹۹۸		4	$\frac{11}{6}$
این تحقیق	U2	6.2	$\frac{9}{6}$
	A3	8	$\frac{9}{6}$

به‌طور کاملاً مجزا قرار می‌گیرند و باید نتایج براساس
 مقدار شیب دسته بندی گردند. (شکل ۸) بطور نمونه
 رابطه یکی از گروه های بدون بعد (غیر ماندگاری)
 و گروه وابسته را نشان داد.

مدل انتقال بار کف

برای مشخص نمودن همبستگی گروه های بدون
 بعد مستقل و گروه وابسته رابطه رگرسیونی بین هریک
 از گروه‌ها در هر سه شیب انتخابی انجام گردیده بود که
 نتایج نشان داد، مقادیر به‌دست آمده برای هر گروه شیب



شکل ۸. همبستگی نتایج برای سه شیب انتخابی

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

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

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

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

شیب	K	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6
0.006	0.117	1.5	0.3	0.8	0.11	0.65	1
0.014	0.121	1.87	0.39	1	0.087	0.567	1.1
0.018	0.921	1.23	0.25	0.21	0.035	0.093	3

هماهنگی خوبی با نتایج لی [۴] نشان می دهد. همچنین رابطه سونگ و گراف [۹] با اصلاحاتی با نتایج به دست آمده در این تحقیق هماهنگی نشان داد. بررسی مدل های مختلف به روش آنالیز ابعادی در این تحقیق بعنوان مبنایی برای پیش بینی بار کف در آبراهه های فصلی می تواند باشد از سوی دیگر ضرایب (رابطه ۹) بستگی به شیب بستر دارد.

نتیجه گیری

طبق بررسی بعمل آمده روی مجموعه آزمایش های فلوم آزمایشگاهی شبیه سازی شده برای بررسی عوامل مؤثر بر انتقال رسوب در رودخانه فصلی توسط محققین مختلف 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

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. 21st 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

