

## تأثیر پارامتر غیرماندگاری بر انتقال رسوب در جریان سیلابی

کاظم اسماعیلی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۱۳

### چکیده

تأثیر مهم جریان سیل در تغییرات ریخت شناسی رودخانه امری بدیهی و روشن است. سیل‌های ناگهانی خسارت بیشتری را به بار می‌آورند و رگبارهای شدید و ناگهانی از ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه خشک بوده و عامل مهم تولید چنین سیلاب‌هایی می‌باشند. در این تحقیق نتایج یک مدل عددی با نتایج یک مدل آزمایشگاهی ترکیب گردید و انتقال رسوب در بسترهای متحرک تحت جریان سیلاب سریع مورد بررسی قرار گرفت. از اینرو پس از کالیبراسیون مدل عددی توسط شرایط اولیه و مرزی در هر یک از آزمایش‌های انجام گرفته امکان دستیابی به متغیرهای هیدرولیکی جریان که در شرایط غیر دائمی با زمان تغییر می‌نمایند، فراهم گردید. هدف این مطالعه بررسی مکانیزم انتقال رسوب در رودخانه فصلی ناشی از سیلاب ناگهانی بصورت مدل‌سازی شرایط طبیعی در یک فلوام آزمایشگاهی با قابلیت شیب پذیری بوده است. از آنجا که تجزیه و تحلیل سیلاب به صورت جریان غیرماندگار صورت می‌گیرد، تعدادی آبنمود با دبی حداکثر متفاوت در آزمایشگاه تولید گردید. ماسه با دانه‌بندی یکنواخت و اندازه‌ی متوسط  $2/1, 0/5$  و  $3$  میلی‌متر بعنوان نمونه دانه‌بندی بستر مورد استفاده قرار گرفت. عوامل مستقل مؤثر بر جابجایی رسوب عبارتند از: دبی حداکثر آبنمود، شیب بستر، زمان پایه آبنمود، شکل آبنمود (مثلثی و دوزنقه‌ای). نتایج نشان داد، آبنمودها از پایداری و تعادل مناسب برخوردار هستند. قدرت آبراه نیز همبستگی مناسبی با میزان دبی متوسط رسوب نشان داد. همچنین عدد بدون بعد غیر ماندگاری نقش قابل توجهی در جریانهای غیر ماندگار دارد و در این آزمایشات در محدوده  $1.54 \times 10^{-3} < T < 3.28 \times 10^{-2}$  بدست آمد که نشان می‌دهد برای انتقال ذرات با اندازه‌های متفاوت حداقل عدد غیرماندگاری ضروری است. آبنمودهای دارای عدد غیرماندگاری بیشتر میزان رسوب بیش‌تری را منتقل می‌نمایند.

واژه‌های کلیدی: جریان غیر دائمی، بار بستر، سیل سریع، آبنمود

### مقدمه

رودخانه‌ها از نظر دوام جریان به دو دسته کلی قابل تفکیک می‌باشند. دسته اول را که جریان در تمامی سال در آن‌ها جاری است رودخانه دائمی<sup>۲</sup> و دسته دوم که مدت زمان بسیار محدودی از سال جریان در آن‌ها دیده می‌شود و حتی در مواردی ممکن است در یک دوره زمانی چند ساله هیچگونه جریانی در آن‌ها جاری نگردد به رودخانه فصلی<sup>۳</sup>ها<sup>۳</sup> مشهور هستند. علی‌رغم اهمیت جریان‌های سیلابی در مسیل و رودخانه‌های فصلی (خشک رودها)، تجزیه و تحلیل این جریان‌ها به دلیل تأثیر عوامل متعدد بر روند شکل‌گیری و انتقال رواناب از پیچیدگی خاصی برخوردار و به دلیل کم اهمیت بودن آن‌ها از جنبه اقتصادی تاکنون کم‌تر مورد توجه بوده‌اند. عمدتاً رودخانه‌های فصلی را با توجه به توپوگرافی منطقه، بافت خاک، پوشش گیاهی،

رژیم هیدرولوژیکی و... به مسیل‌های بیابانی و نیمه بیابانی، مسیل‌های مناطق پرباران و مسیل‌های جزر و مدی تقسیم می‌نمایند. به طوری که هریک از آن‌ها دارای ویژگی‌های خاص می‌باشند (Belmonte & Beltean, 2001)

بارندگی در این نواحی الگوی مشخصی ندارد، خشکسالی‌های متوالی چند ساله و گاه‌ها بارش‌های سیل‌آسا و طغیانی که می‌تواند خسارات بسیار زیادی به بار آورد از ویژگی‌های بارشی مناطق کم‌باران و رودخانه‌های فصلی می‌باشد. به دلیل شرایط اقلیمی ایران این نوع رودخانه در مناطق مختلف کشور زیاد به چشم می‌خورد. بررسی منابع نشان می‌دهد در زمینه موضوع رودخانه‌های فصلی و حرکت جریان سیلاب در آن‌ها که عمدتاً با مفهوم حرکت جریان غیرماندگار روی بستر متحرک شناخته می‌شود در ایران سابقه موضوعی خاصی وجود ندارد. لیکن در دیگر نقاط جهان مطالعات انجام گرفته به دلیل مشکلات خاص ثبت اطلاعات و هزینه‌های مربوطه در شرایط طبیعی بسیار محدود بوده و عمده کارهای انجام گرفته که خود نیز از تعداد زیادی برخوردار نیست در آزمایشگاه‌ها به صورت مدل‌سازی شرایط

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

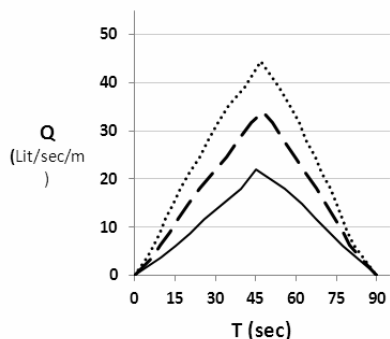
(\*) نویسنده مسئول (Email: Esmaili@Ferdowsi.um.ac.ir)

2 - Perennial streams

3 - Ephemeral streams

جریان را در حال عبور فراهم می‌نمود. برای تولید هیدروگراف (جریان متغیر نسبت به زمان) یک سیستم هیدرولیکی طراحی و در بالادست کانال نصب گردید. هیدروگراف‌های متنوع با زمان پایه متفاوت (۴۰ تا ۹۰ ثانیه) مقیاس‌سازی زمان پایه آنمود بر اساس سیلاب‌های رخ داده در نواحی خشک است، دبی اوج متفاوت (۳۳۴ تا ۴۵ لیتر بر ثانیه) بر واحد عرض تولید گردید. در شکل ۲ نمونه هیدروگراف‌های اندازه-گیری شده در کانال مشاهده می‌شود. یک بستر با ذرات رسوبی و دانه‌بندی (روش ASTM) یکنواخت رودخانه‌ای برای سه نوع دانه‌بندی با قطر متوسط ۱/۵، ۲/۱ و ۳ میلی‌متر آماده‌سازی شد. ضریب یکنواختی ذرات انتخابی  $\sigma_p$  در جدول ۱ درج شده است. برای ثبت نتایج آزمایشات از روش عکس‌برداری توسط دوربین‌های دیجیتال استفاده شد. موقعیت دوربین‌ها و محل اندازه‌گیری عمق جریان در طول بستر در شکل ۳ به‌طور شماتیک نشان داده شده است. سه نسبت عمق جریان پایه به قطر متوسط ذرات با  $h_0/d_{50}=0, 3.5, 13.3$  انتخاب گردید (نسبت  $h_0/d_{50}=13.3$  برای ریزترین دانه‌بندی در شرایطی که به ازای عمق حاصل هیچ حرکتی در ذرات بستر مشاهده نشود در نظر گرفته شد نسبت صفر برای حالتی که جریان پایه وجود نداشت). در هر آزمایش تغییرات عمق جریان و سطح بستر در طی عبور آنمود در طول بستر (به‌فواصل ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۱۳۰، ۲۰۰ سانتی‌متر) از طریق عکس‌برداری ثبت و سپس به کمک نرم افزار پلات دیجیتال به مقادیر عددی تبدیل و برای تجزیه و تحلیل و رسم نمودارها به محیط اکسل انتقال داده شد. اندازه‌گیری رسوب نیز در پایان هر آزمایش پس از جمع‌آوری کلیه رسوبات خارج شده از سطح بستر توزین و مقدار آن ثبت می‌گردید.

شکل ۴ نمونه‌ای از تغییرات تراز آب را در طول بستر برای دو آزمایش A1 و U3 نشان می‌دهد چنان‌که مشاهده می‌گردد تغییرات سطح آب ثبت شده پراکنش ناچیزی دارند که حاکی از مناسب بودن مقادیر داده‌های اولیه می‌باشد. الگوی آزمایشات در جدول ۲ درج شده است.



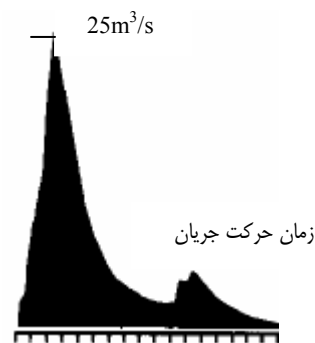
شکل ۲- انواع آنمود اندازه‌گیری شده در کانال

طبیعی بوده است. مطالعه جریان سیل و چگونگی خصوصیات کمیت-های مرتبط با آن مانند عمق، سرعت، سرعت برشی، تغییرات ضریب زبری جدار و... در منابعی همچون هندرسون (Henderson, 1996) مطرح شده است. گراف و کوو با تولید جریان متغیر زمانی در یک کانال مستطیلی به مدل‌سازی سیلاب در آزمایشگاه پرداخته و نتایج حاصل را با نتایج بدست آمده از تحلیل تئوری مقایسه نموده نشان دادند پارامترهای هیدرولیکی جریان در شرایط غیردائمی دارای تقدم و تأخر وقوع هستند (Graf & Qu, 2004). سونگ و گراف نیز با مطالعه جریان‌های غیرماندگار پارامتر  $\beta$  به‌عنوان شاخص پایداری هیدروگراف‌های تولیدی معرفی نموده و نشان داد هیدروگراف‌های تولیدی در شرایط غیرماندگار باید مقدار آن  $\beta < -1$  باشد (Song & Graf, 1998). حاصل مطالعات رید و همکاران در سال‌های مختلف جمع‌آوری اطلاعات میدانی از وقوع جریان‌های سیلابی در منطقه رفح واشما شده است. این نتایج نشان می‌دهد سیلاب‌ها از زمان پایه کوتاهی برخوردار بوده و دبی اوج آن‌ها زیاد است (شکل ۱). همچنین رابطه قابل قبولی بین میزان رسوب انتقالی با تنش برشی وارد بر کف مشاهده شده است (Reid et al, 1996). بیلی نیز مطالعاتی را در زمینه انتقال رسوب در شرایط سیلاب سریع انجام داد و نشان داد رسوب انتقالی در این حالت نسبت به شرایط ماندگار بیش‌تر است (Billi, 2011).

این تحقیق با هدف بررسی اثر خصوصیات هیدرولیکی جریان بر میزان دبی متوسط رسوب (بارکف) انتقالی در بسترهای متحرک به-صورت مدل‌سازی آزمایشگاهی انجام گرفته است. برای بررسی نتایج آزمایشگاهی از یک مدل عددی نیز کمک گرفته شده است.

## مواد و روش‌ها

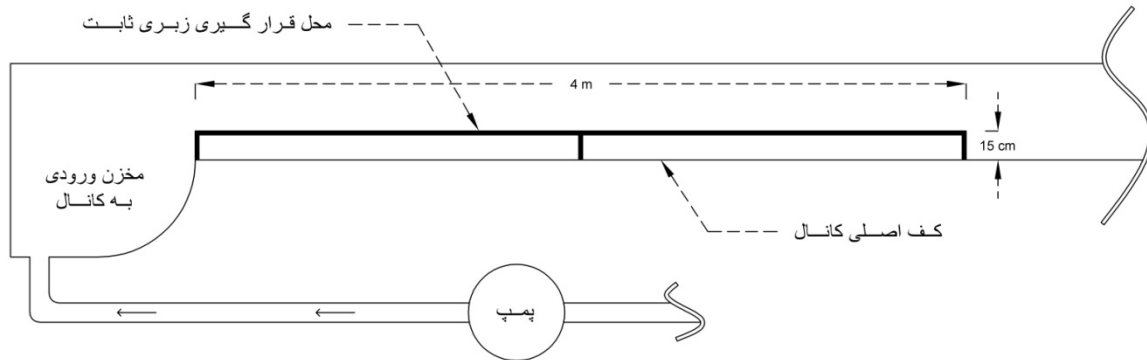
برای انجام تحقیق در زمینه موضوع فوق از یک فلوم آزمایشگاهی به عرض ۳۰، ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و طول ۱۰ متر استفاده شده است (۲ متر از بستر کانال پوشیده از رسوب). کانال دارای قابلیت شیب‌پذیری بوده و دیواره‌های شیشه‌ای امکان مشاهده



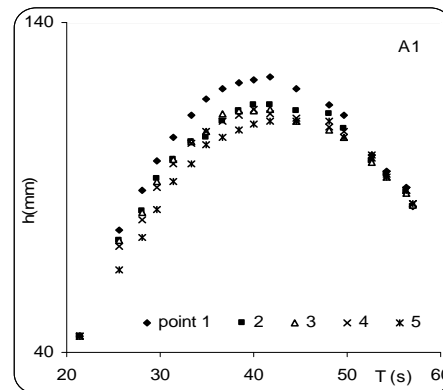
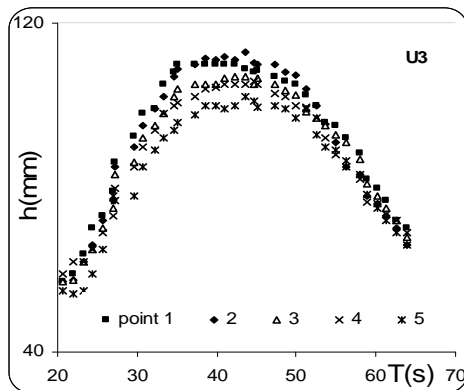
شکل ۱- آنمود اندازه‌گیری شده (رید، ۱۹۹۸)

جدول ۱- نتایج دانه بندی ذرات بستر

شماره	آب نمود	$D_{min}$ (mm)	$D_{84}$ (mm)	$D_{50}$ (mm)	$D_{16}$ (mm)	$\sigma_g = (D_{84} / D_{16})^{0.5}$
۱	۲/۱	۰/۵	۲	۱/۵	۱/۳	۱/۲۴
۲	۳/۳۵	۱/۱۸	۲/۳	۲/۱	۱/۷	۱/۱۶
۳	۴/۲۵	۲/۳۶	۳/۵	۳	۳	۱/۰۸



شکل ۳- شمای ساده بستر آزمایشی



شکل ۴- تغییرات تراز آب در نقاط مختلف بستر در دو آزمایش نمونه در طی عبور آبنمود

$$\frac{\partial h}{\partial t} + c \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

فرمول جونز نسبت مقادیر دبی را در حالت ماندگار و غیرماندگار در فرم رابطه ۴ آورده است.

$$\frac{Q}{Q_0} = \sqrt{1 + \frac{1}{S_0 c} \frac{\partial h}{\partial t}} \quad (4)$$

می توان رابطه ۴ را در شکل کلی آن نوشت.

$$\frac{Q}{Q_0} = f_1 \left( \frac{1}{S_0 c} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \right) \quad (5)$$

موج ثقی (کینماتیک) برای جریان پایه را از  $c = \sqrt{gh_b}$  که به شکل  $\sqrt{S_0} \sqrt{S_0 gh_b} = \sqrt{S_0} \times u_*$  قابل تغییر است، نوشته می شود.

### روابط تئوری شدت جریان

در جریان های ماندگار از روابط شزی یا مانینگ می توان شدت جریان را برآورد نمود.

$$Q_0 = BCh(R_h \cdot S_0)^{-5} \quad (1)$$

که در آن B عرض کانال، h عمق جریان،  $R_h$  شعاع هیدرولیکی که در مقاطع عرضی می توان آن را با عمق برابر در نظر گرفت،  $S_0$  شیب بستر و C ضریب شزی. در جریان غیر دائمی رابطه ۱ بصورت زیر با تقریب مناسب قابل بیان است (Henderson, 1966)

$$Q = BCh \left[ h \left( S_0 + \frac{1}{c} \frac{\partial h}{\partial t} \right) \right]^{-5} \quad (2)$$

در رابطه ۲ عبارت موج کینماتیک برابر صفر در نظر گرفته شده است.

$$\frac{Q}{Q_0} = f_2 \left( \frac{1}{u_*} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \right) \quad (۶)$$

$$T = \left[ \left( \frac{1}{u_*} \right) \cdot \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right) \right]$$

در رابطه ۶ نسبت شدت جریان در حالت غیردائمی به جریان در حالت دائمی به سرعت برشی جریان پایه و نیز خصوصیات موج جریان  $\frac{\partial h}{\partial t}$  و یا به عدد غیرماندگاری (T) وابسته است.

### انتقال رسوب

از آنجا که میزان رسوب انتقالی تابعی از شدت جریان است بنابراین می‌توان نسبت رسوب در حالت غیرماندگار را به ماندگار به- صورت مشابه تابع از عدد غیر ماندگاری نوشت.

$$\frac{Q_s}{Q_{s0}} = f_3 \left( \frac{1}{u_{*b}} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \right) \quad (۷)$$

$$\frac{Q_s - Q_{s0}}{Q_{s0}} = f_4 \left( \frac{1}{u_{*b}} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \right) \quad (۸)$$

در روابط بالا  $Q_s$  دبی رسوب در شرایط غیردائمی و  $Q_{s0}$  دبی رسوب در شرایط دائمی است.

### کاربرد مدل عددی

برای تولید پارامترهای متغیر زمانی که در آزمایشگاه امکان اندازه-گیری آنها وجود نداشت از یک مدل عددی که قابلیت حل معادلات هیدرودینامیکی جریان را فراهم می‌نمود استفاده شد. مدل به روش حجم محدود عمل نموده و برای هر یک از شرایط آزمایشی شامل شرایط اولیه و شرایط مرزی به کار گرفته شده در آزمایشگاه اجرا و خروجی‌های لازم به دست آمد.

### واسنجی مدل عددی

مدل عددی با ورودی شرایط اولیه و مرزی هر آزمایش شامل عمق جریان اولیه (عمق جریان پایه)، دبی اولیه جریان، دبی حداکثر، دبی انتهایی، زمان پایه هیدروگراف، طول بستر، نقاط مورد نظر برای اشل و فواصل زمانی خروجی برنامه اجرا شده و خروجی‌های آن شامل تراز سطح آب، دبی و سرعت انجام گردید. در این روند با تغییر مقدار n ضریب زبری بستر در مدل سعی در یکسان‌سازی تغییرات زمانی تراز سطح آب برداشت شده در آزمایشگاه و به دست آمده از مدل گردید. زبری به دست آمده (n) به عنوان ضریب زبری بستر تلقی گردید. نمونه روند کالیبراسیون مدل در شکل ۵ آورده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود مقادیر ثبت شده در آزمایشگاه هماهنگی

جدول ۲- الگوی آزمایشات

Q (m <sup>2</sup> /s)	T (s)	MOUSE	S0	d50 mm	Q (m <sup>3</sup> /s)	T (s)	MOUSE	S0	d50 mm	q (m <sup>2</sup> /s)	T (s)	S0	d50 mm
۳۳/۳	۴۰	۰	۰/۰۰۶	۱/۵	۳۳/۳	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۳۳/۳	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۳۱/۷	۴۰	۰	۰/۰۰۶	۱/۵	۳۱/۷	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۳۱/۷	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۴۰	۴۰	۰	۰/۰۰۶	۱/۵	۴۰	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۴۰	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۳۸/۳	۴۰	۰	۰/۰۰۶	۱/۵	۳۸/۳	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۳۸/۳	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۳۳/۷	۴۰	۰	۰/۰۰۶	۱/۵	۳۳/۷	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۳۳/۷	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۳۳/۳	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۵	۳۳/۳	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۳۳/۳	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۳۱/۷	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۵	۳۱/۷	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۳۱/۷	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۴۰	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۵	۴۰	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۴۰	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۳۸/۳	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۵	۳۸/۳	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۳۸/۳	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۳۳/۷	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۵	۳۳/۷	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۳۳/۷	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۳۳/۳	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۵	۳۳/۳	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۳۳/۳	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۳۱/۷	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۵	۳۱/۷	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۳۱/۷	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳
۴۰	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۵	۴۰	۴۰	۳/۵	۰/۰۰۶	۱/۸	۴۰	۴۰	۰/۰۰۱۸	۳

بسیار مناسبی با مقادیر خروجی از مدل نشان می‌دهند.

## نتایج و بحث

### تبادل هیدروگرافها

در طی عبور آب نمود از روی بستر در هر لحظه جریان در تمام نقاط غیر یکنواخت می‌باشد. بنابراین باید تبادل آب نمود ها (پایداری و ویژگی- های هیدرودینامیکی) مورد بررسی قرار گیرد. با استفاده از معادلات حرکت و پیوستگی جریان و نیز رابطه سنت ونانت پارامتر بدون بعد  $\beta$  که بیانگر گرایان بدون فشار در امتداد طولی جریان است توسط سونگ ۱۹۹۸ پیشنهاد شد. رابطه سونگ بصورت رابطه ۹ می‌باشد.

$$\beta_u = \frac{D}{\tau_0} \left( \frac{dP^*}{dx} + \rho \frac{\partial u}{\partial t} \right) = \frac{\rho g D \left( -S + \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} \right)}{\tau_0} \quad (9)$$

$\beta$  پارامتر تبادل در شرایط دائمی

$\beta_u$  پارامتر تبادل در شرایط غیردائمی

برای جریان‌های متعادل مقدار  $\beta_u$  در طی عبور جریان ثابت است. در جریان‌های غیردائمی مقدار این پارامتر به شرایط غیرماندگاری جریان بستگی دارد. در شرایط دائمی جریان  $\beta$  و  $\beta_u$  برابرند، رابطه ۹ بصورت ۱۰ خلاصه می‌شود.

$$\beta = \frac{D}{\tau_0} \frac{dP^*}{dx} = \frac{D}{\tau_0} g \rho \left( -S + \frac{dD}{dx} \right) \quad (10)$$

در جریان یکنواخت  $\beta = 1$ ، در جریان یکنواخت با شتاب کاهنده  $\beta > -1$  و در جریان‌های یکنواخت با شتاب افزایشنده  $\beta < -1$  می‌باشد.

$D$  عمق جریان حداکثر،  $S$  شیب بستر،  $\tau_0$  تنش برشی کف،  $P^*$  فشار جریان،  $x$  فاصله

در جریان‌های غیرماندگار اگر  $\beta_u$  نزدیک به مقدار آن در حالت جریان یکنواخت با شتاب افزایشنده ( $\beta < -1$ ) باشد، می‌توان فرض کرد که هیدروگرافها دارای تبادل مناسب می‌باشند (Song, 1998). نتایج سونگ در مورد وضعیت تبادل هیدروگراف‌های تولیدی نشان داد  $-1.03 < \beta_u < -5.4$  می‌باشد.

در آزمایشات این تحقیق برای مطالعه شرایط تبادل، هیدروگراف- های مورد استفاده با به‌کارگیری مدل عددی اقدام به بررسی وضعیت تبادل هیدروگرافها گردید. در این حال برای تعدادی از آزمایشات با وارد نمودن شرایط اولیه و شرایط مرزی مربوط به هر آزمایش (جدول ۲) مقادیر پارامترهای هیدرولیکی مورد نیاز برای محاسبه ارائه گردیده است. جدول ۳ مقادیر  $\beta_u$  را به‌طور نمونه نشان می‌دهد

چنانکه از نتایج جدول مشخص می‌باشد، محدوده تغییرات این پارامتر چنان است که تعادل هیدروگراف‌های به‌دست آمده در آزمایشات را تایید می‌نماید.

### جدول ۳- مقادیر متوسط پارامتر بدون بعد $\beta_u$ برای تعدادی از

آزمایشات (جدول ۲)			
P1	U1	P2	Z2-1
-۱/۷	-۰/۴	-۲	-۱/۱

### قدرت آبراهه

یکی از ویژگی‌های مؤثر بر انتقال رسوب قدرت آبراهه است. قدرت آبراهه را با روابط مختلف می‌توان نشان داد.

مهم‌ترین رابطه شناخته شده در این مورد  $W=QS$  است که در آن  $W$  قدرت آبراهه،  $Q$  دبی جریان و  $S$  شیب بستر می‌باشد. در این تحقیق میزان رسوب انتقالی در ارتباط با قدرت آبراهه با انجام چندین آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل در شکل ۶ آورده شده است. چنان که از نمودارهای به‌دست آمده مشخص است. ارتباطی قوی بین قدرت آبراهه و میزان رسوب انتقالی وجود دارد. در شکل ۶ هر منحنی معرف یک سری از آزمایشات است. ضرایب تبیین بالا همبستگی و معادلات رگرسیونی نمایی برازش شده بر آن‌ها گویای ارتباط قوی بین قدرت آبراهه و میزان رسوب انتقالی است. در جدول ۴ مشاهده می‌گردد.

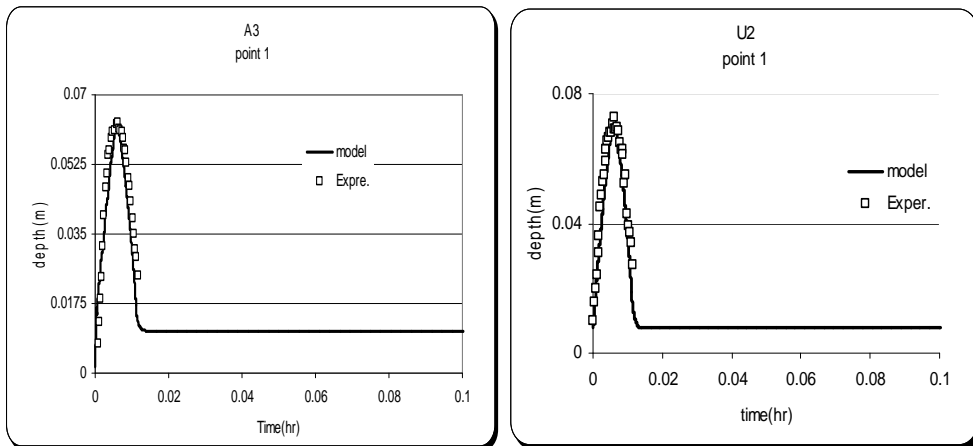
در مورد شکل ۶ باید اشاره نمود که هر یک از حروف لاتین و زیرنویس آن معرف یکی از آزمایشات است و چون هر آزمایش برای ۵ حالت دبی تکرار گردیده است لذا خطوط فاصله بین آن‌ها نشان دهنده آزمایشاتی است که در این شکل آورده نشده است. بعنوان مثال می‌توان به (U2-V2-W2-X2-Y2) اشاره کرد.

### عدد غیر ماندگاری<sup>۱</sup>

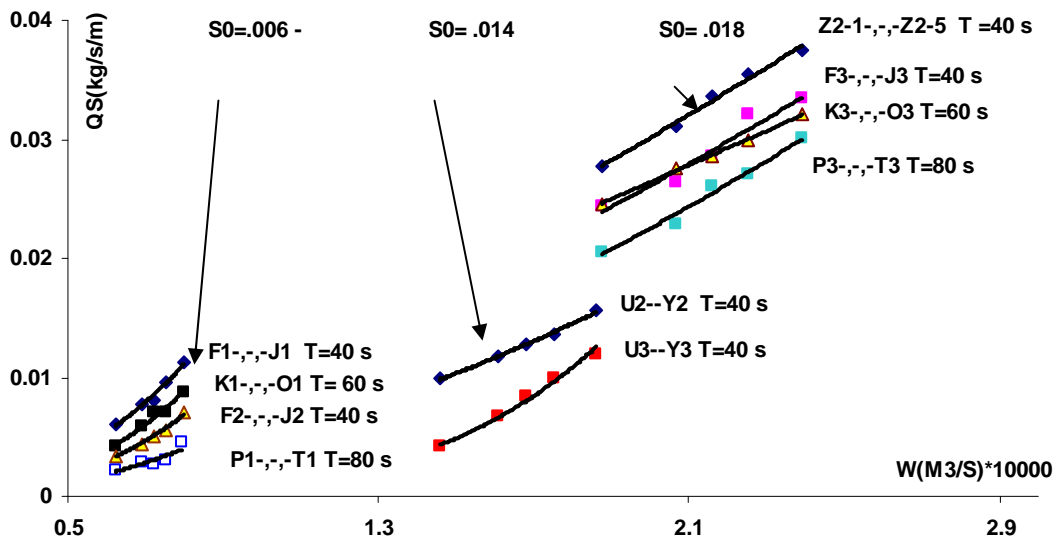
بررسی منابع نشان می‌دهد بهترین پارامتری که در جریان غیرماندگار ارتباط مناسبی با میزان رسوب انتقالی نشان می‌دهد عدد غیرماندگاری است. این پارامتر بدون بعد عبارتست از نسبت سرعت افزایش جریان به سرعت برشی جریان پایه  $[y/(u^*t)]$ . در آزمایشات این تحقیق مقدار سرعت جریان پایه به‌جای سرعت برشی مدنظر قرار گرفته است. براساس مقدار عدد غیرماندگاری شرایط انتقال رسوب تغییر خواهد کرد.

جدول ۵ محدوده عدد غیرماندگاری را برای آزمایشات این تحقیق و سایر محققین نشان می‌دهد. شکل ۵ نیز رابطه دبی رسوب و عدد غیرماندگاری (با سرعت جریان پایه و سرعت برشی جریان پایه) را

برای سه شیب انتخابی نشان می‌دهد.



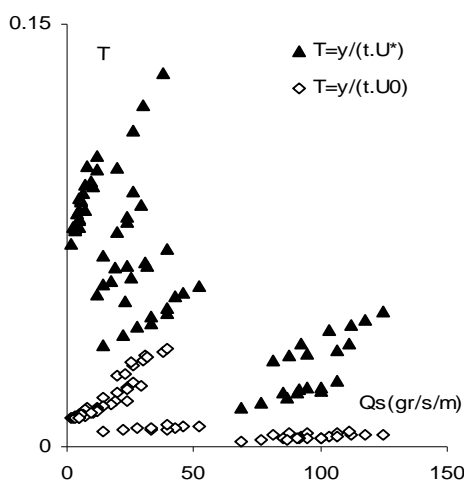
شکل ۵- نمونه شرایط کالیبراسیون مدل عددی برای دو آزمایش U2, A3



شکل ۶- مقادیر قدرت آبراهه در برابر دبی متوسط رسوب

جدول ۴- مقادیر ضرایب همبستگی و معادلات رگرسیونی ارتباط قدرت آبراهه و دبی رسوب

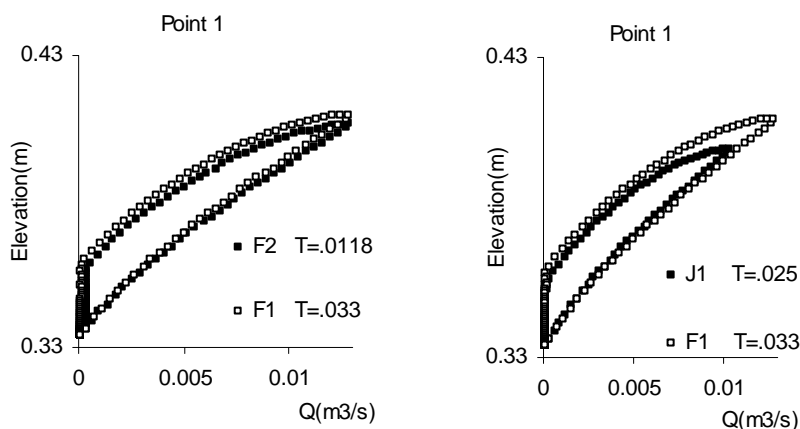
شیب	آزمایش	رابطه	R <sup>2</sup>
۰/۰۰۶	F1-J1	$Q_s = .0197w^{2.554}$	$R^2 = .98$
	K1-O1	$Q_s = .0169w^{2.8813}$	$R^2 = .98$
	P1-T1	$Q_s = .0132w^{2.9}$	$R^2 = .99$
۰/۰۱۴	F2-J2	$Q_s = .0073w^{2.633}$	$R^2 = .83$
	U2-Y2	$Q_s = .0049w^{1.8646}$	$R^2 = .998$
	U3-Y3	$Q_s = .0008w^{4.692}$	$R^2 = .99$
۰/۰۱۸	Z2-1-Z2-5	$Q_s = .0124w^{1.2812}$	$R^2 = .99$
	F3-J3	$Q_s = .01w^{1.395}$	$R^2 = .95$
	K3-O3	$Q_s = .0125w^{1.0806}$	$R^2 = .998$
۰/۰۱۸	P3-T3	$Q_s = .0074w^{1.604}$	$R^2 = .975$



شکل ۷- تغییرات عدد غیرماندگاری در برابر دبی رسوب

جدول ۵- محدوده مقادیر عدد غیر ماندگاری در تحقیقات مختلف

منبع	تعداد آبنمود	پارامتر غیر ماندگاری	اندازه ذرات ( $d_{50}$ ) میلی متر	توضیحات
Tu (1991)	۱۳	$1.29 \times 10^{-2} < T < 3.05 \times 10^{-2}$	۱۳/۵ ۲۳	
Song (1994)	۳۳	$4.4 \times 10^{-3} < T < 1.8 \times 10^{-2}$	۱۲/۳	بار کف
	۱۵		۵/۸	بدون رسوب
Song and Graf (1997)	۳۳	$1.04 \times 10^{-3} < T < 1.8 \times 10^{-2}$	۱۲/۳	بار کف
	۲۱		۵/۸	بار معلق
Cellino and Graf (1999)	۸	-----	۱۳/۵	بار معلق
Qu (2002)	۱۵	$3.4 \times 10^{-3} < T < 5.71 \times 10^{-2}$	۵/۸	بدون رسوب
	۱۲		۲	بار کف
Lee et.al.2003	۱۷	$0.11 \times 10^{-3} < T < 0.96 \times 10^{-3}$	۱/۵	بار کف
This study (2010)	۱۲۷	$1.54 \times 10^{-3} < T < 3.28 \times 10^{-2}$	۲/۱	بار کف
			۳۳	



شکل ۸- مقادیر زمانی تغییرات عدد غیرماندگاری برای برخی آزمایشات

آنجا که این پارامتر نسبت شیب شاخه بالا رونده هیدروگراف را به سرعت جریان پایه و یا سرعت برشی جریان پایه را نشان می‌دهد. لذا در مواردی که سیلاب از شدت بیشتر و زمان پایه کوتاه برخوردار باشد رسوب بیشتر را انتقال می‌دهد. قدرت آبراهه نیز به‌عنوان شاخص دیگری که ارتباط بسیار مناسبی با جابجایی رسوب دارد می‌توان در برآورد میزان رسوب انتقالی مورد توجه باشد. همچنین نتایج نشان داد تغییرات دبی جریان در برابر تراز سطح آب یا عمق جریان فرآیند برگشت‌پذیری داشته و منحنی بسته به دست آمده در آبنمودهای با اعداد غیرماندگار بزرگ‌تر همواره بزرگ‌تر است. فرآیند تعادل آبنمودهای تولیدی نیز نشان داد که مقدار ضریب  $\beta_{II}$  نزدیک به ۱- بوده که حاکی از مناسب بودن آبنمودها تولیدی می‌باشد.

### منابع

- Belmonte, A.M.C and Beltean, F. S. 2001. Flood event in Mediterranean Ephemeral Stream in Valencia Region, Spain. *Catena*. 45: 229-249
- Billi, P. 2011. Flash flood sediment transport in a steep sand-bed ephemeral stream. *International Journal of Sediment Research* No. 26: 193-209.
- Graf, W.H., Suszka, L. 1985. Unsteady flow and its effect on sediment transport. *Proceedings, 21st IAHR Congress, August, Melbourne, Australia*: 540-544
- Graf, W.H and Zhaosong, Q. u. 2004. *Flow Hydrograph in open Channels*.
- Proceedings of the ICE - Water Management, Volume 157, Issue 1, 01*
- Henderson, F.M. 1966. *Open Channel Flow*. Macmillan Series
- Reid, Ian., Laronne, Jonathan, b and Powell, M. 1996. Prediction of Bed-Load Transport by Desert Flash Floods. *J. of hyd. Eng.* vol.122, No.3
- Song, T., Graf, W.H. 1998. Velocity and Turbulence Distribution in unsteady Open channel Flows. *J. Hr. Eng.* Vol. 122: No. 3

چنانکه از شکل فوق ملاحظه می‌گردد با افزایش عدد غیرماندگاری میزان رسوب انتقالی برای تمام شیب‌ها افزایش نشان می‌دهد. مقادیر به‌دست آمده عدد غیرماندگاری برحسب سرعت جریان پایه همواره کم‌تر از مقادیر محاسبه شده برحسب سرعت برشی جریان پایه است از طرفی چنانکه ملاحظه می‌شود تغییرات رسوبی برحسب جریان پایه نتایج را در سه دسته، کاملاً از یکدیگر تفکیک نموده در صورتی که در حالت به‌کارگیری سرعت برشی چنین شرایطی وجود ندارد. این موضوع احتمالاً ناشی از آن است که ماهیت سرعت جریان پایه و سرعت برشی متفاوت می‌باشد.

تغییرات عدد غیرماندگاری در طی عبور آبنمود برای هر یک از آزمایشات نشان می‌دهد با افزایش عدد غیرماندگاری مقدار رسوب بیش‌تری توسط جریان انتقال می‌یابد. در شکل ۸ تغییرات زمانی دبی جریان در برابر عمق جریان برای اعداد غیرماندگاری متفاوت ترسیم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود آبنمودهایی که دارای اعداد غیرماندگار بزرگ‌تری هستند منحنی مسیر رفت و برگشت دبی در برابر عمق از عرض بیش‌تری برخوردار است.

مقایسه مقادیر دبی رسوب برای آبنمودهای مربوط به آزمایش J1, F1 که در شکل ۸ مورد بررسی قرار گرفتند دارای دانه‌بندی مشابه بوده و نشان می‌دهند در حالت F1 که عدد غیرماندگاری بیش‌تر است میزان رسوب انتقالی نیز بیش‌تر می‌باشد. همین بررسی در مورد آزمایش F1, F2 با دو نوع دانه‌بندی ۲/۱ و ۱/۵ میلی‌متر حاکی از آنست که علی‌رغم بیش‌تر بودن اندازه ذرات در آزمایش F2 دبی رسوب در حالت F1 بعلاوه بیش‌تر بودن عدد غیرماندگاری کمی بیش‌تر است. این موضوع در شکل ۸ که مقایسه حالت F1, F2 را نشان می‌دهد نیز کاملاً واضح می‌باشد. هر چند دو منحنی رسم شده تفاوت کمی با یکدیگر دارند.

### نتیجه‌گیری

در راستای بررسی شرایط هیدرولیکی جریان بر میزان رسوب انتقالی در شرایط غیرماندگار مشاهده شد که پارامتر غیرماندگاری به‌عنوان شاخصی برای قابلیت انتقال رسوب توسط جریان قابل توجه است، و همواره با افزایش آن میزان رسوب بیش‌تری انتقال می‌یابد. از



## Unsteadiness Parameter Effect on Sediment Transport under Flash Flood

K. Esmaili,<sup>1</sup>

Received: Mar.11,2013 Accepted: Dec.4,2014

### Abstract

Significant impact of flood flows on river morphology changes is obvious. The sudden floods are caused more damage. Sudden and heavy showers feature of arid and semiarid regions is an important factor that can produce such a flood. A numerical and experimental results model was combined in this research and the sediment transport evaluated in unsteady flow on moveable bed. First numerical model was calibrated by initial condition and boundary condition of experiments data. Then some of hydraulic parameters which changes in time were derived. Study of mechanism sediment transport under flash flood is the aim of this research that it's modeled experimentally in flume with change in slope. Since the flood analysis was down as unsteady flow. Some Hydrographs were generated with peak different discharge rates. The sediment was used has median size, 1.5, 2, 3 mm. Independent parameters effects on sediment transport are: maximum discharge of hydrograph, bed slops, time duration of hydrograph and hydrographs form (triangle – trapezoidal). The results show that equilibrium and stability of hydrographs are suitable. Also the unsteadiness dimensionless number has an important role on sediment transport and for this study the range of it's  $1.54 \times 10^{-3} < T < 3.28 \times 10^{-2}$ , that will shows a minimum Froude number for particle motion is necessary. The hydrographs which have higher unsteadiness can to transport more of sediment

**Key words:** Unsteady flow, bed load, Flash flood, Hydrograph

---

1. Associate Professor in Department of Water Engineering, Agriculture College, Ferdowsi University of Mashhad  
(\* - Corresponding Author Email: Esmaili@Ferdowsi.um.ac.ir)