

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی کشاورزی

گروه آب و خاک

بررسی آزمایشگاهی میزان انتقال رسوبات بار کف به پایین دست در اثر هیدروگراف جریان
سیلابی

نگارنده : سیده طاهره میردال دیوشلی

اساتید راهنما:

دکتر خلیل اژدری

دکتر صمد امامقلی زاده

اساتید مشاور:

دکتر روزبه موذن زاده

مهندس اشکان آل بویه

بهمن ۱۳۹۴

تقدیم به

دو وجود مقدس

آنان که ناتوان شدند تا به توانایی برسند و مویشان سپید گشت تا روسپید شوم

تقدیم به پدر و مادر مهربانم

تقدیر و تشکر

این پایان نامه آماده نمی گردید مگر با لطف و رحمت پروردگار و تلاش و زحمات اساتید و تشویق خانواده عزیزم. از تمامی پرسنل دانشگاه صنعتی شاهرود و تمامی کسانی که به معنای واقعی به اینجانب الطاف لازم را مبذول داشتند تقدیر می کنم. از اساتید راهنما جناب آقای دکتر خلیل اژدری و دکتر صمد امامقلی زاده و اساتید مشاور جناب آقای دکتر روزبه موذن زاده و مهندس اشکان آل بویه که در طول انجام این تحقیق همواره بنده را یاری نمودند، صمیمانه قدر دانی می کنم، در انتها و در اصل ابتداء، تقدیر و تشکر قلبی خود را به خانواده ام اعلام می دارم، که بدون حمایت های همه جانبه ایشان این کار را نه آغازی می بود و نه پایانی.

سید طاهره میردال دیوشلی

اسفند ۱۳۹۴

تعهد نامه

اینجانب سیده طاهره میردال دیوشلی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی آزمایشگاهی میزان انتقال رسوبات بار کف به پایین دست در اثر هیدروگراف جریان سیلابی تحت راهنمایی دکتر خلیل اژدری و دکتر صد اماقلی زاده متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نم ، باشد.

چکیده

سیلاب‌های ناگهانی وقایع کوتاه مدتی بوده و دارای دبی اوج بالا هستند که ناشی از بارش‌های شدید بوده و معمولاً در حوزه‌های کوچک اتفاق می‌افتند و به صورت طغیان از مسیر و کناره‌های رودخانه جریان می‌یابد و تمام موانع موجود در سر راه خود را یکجا شسته و تخریب می‌کند. هدف از این تحقیق بررسی آزمایشگاهی میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست در اثر هیدروگراف جریان سیلابی می‌باشد. هیدروگراف‌های استفاده شده در این تحقیق از نوع مثلثی شکل و بصورت متقارن و نامتقارن و دارای زمان پایه و دبی اوج متفاوت بودند. چهار دانه‌بندی رسوب با قطر ۰/۸، ۱/۸۵، ۳/۵ و ۷ میلی‌متر استفاده شدند. همچنین وجود و یا عدم وجود جریان پایه روی مقدار بار بستر منتقل شده به وسیله هیدروگراف-های ورودی بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش دبی از ۱۸ لیتر بر ثانیه بر متر به ۲۷، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست به ترتیب ۱/۱، ۲/۶ و ۶ برابر می‌شود و همچنین بین مقدار دبی اوج هیدروگراف جریان و مقدار اوج سدیگراف رسوب، تاخیر زمانی معادل ۳ تا ۱۲ درصد زمان پایه هیدروگراف وجود دارد. همچنین وجود جریان پایه نیز در میزان فرسایش بالادست و انتقال رسوبات به پایین دست موثر می‌باشد و با افزایش جریان پایه میزان رسوبات منتقل شده نیز افزایش می‌یابد. همچنین هیدروگراف‌های مثلثی متقارن در مقایسه با هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن هنگامیکه زمان پایه و دبی اوج برابری دارند میزان رسوبات بیشتری را انتقال می‌دهند.

کلمات کلیدی: سیلاب ناگهانی، جریان غیرماندگار، جریان پایه، رسوبات بار بستر، انتقال

رسوب، هیدروگراف مثلثی متقارن و نامتقارن

فهرست مطالب

صفحه

عنوان مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات

۲	.....	۱-۱- مقدمه
۲	.....	۲-۱- تقسیم‌بندی رودخانه‌ها
۳	.....	۳-۱- سیلاب
۳	.....	۱-۳-۱- انواع سیلاب
۳	.....	۱-۱-۳-۱- سیلاب‌های رودخانه‌ای
۳	.....	۲-۱-۳-۱- سیلاب‌های ساحلی
۴	.....	۳-۱-۳-۱- سیلاب‌های شهری
۴	.....	۴-۱-۳-۱- سیلاب‌های ناگهانی
۵	.....	۴-۱- رسوب
۶	.....	۵-۱- فرسایش
۷	.....	۶-۱- اهداف و فرضیات تحقیق

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

۱۰	۱-۲- مقدمه
----	-------	------------

۲-۲- مروری بر تحقیقات پیشین ۱۱

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مقدمه ۲۶

۳-۲- تهیه رسوب ۲۶

۳-۳- اندازه‌گیری بار کف ۲۹

۳-۴- آماده‌سازی کانال آزمایشگاهی ۳۱

۳-۴-۱- تغییرات کانال به‌منظور انجام آزمایش‌ها ۳۲

۳-۴-۱-۱- تغییرات کانال آزمایشگاهی ۳۲

۳-۵- جریان غیرماندگار ۳۴

۳-۶- موتور الکتریکی ۳۶

۳-۷- ویژگی‌های ریزش رسوبات (شیار) ۳۷

۳-۸- روش انجام آزمایش ۳۹

۳-۸-۱- به‌دست آوردن هیدروگراف‌های ورودی جریان (جریان غیرماندگار) ۳۹

۴۳	..... ۲-۸-۳- تعیین زمان شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف
۴۴	..... ۹-۳- تعیین دبی اوج هیدروگراف
۴۵	..... ۱۰-۳- هیدروگراف‌های ورودی جریان
۴۵	..... ۱-۱۰-۳- هیدروگراف‌های مثلثی متقارن
۴۶	..... ۲-۱۰-۳- هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن
۴۸	..... ۱۱-۳- بررسی وضعیت معلق شدن ذرات رسوبی
۵۰	..... ۱۲-۳- آماده‌سازی شرایط کانال برای انجام هر آزمایش
۵۱	..... ۱۳-۳- آزمایش‌های انجام شده
۵۱	..... ۱۴-۳- نحوه انجام آزمایش‌ها
۵۲	..... ۱۵-۳- برداشت اطلاعات از روی فیلم‌های گرفته شده
۵۳	..... ۱۶-۳- آنالیز ابعادی

فصل چهارم: نتایج و بحث

۵۸ ۱-۴- مقدمه
----	------------------

۵۸	..... ۲-۴- هیدروگراف‌های مثلثی متقارن
۵۸	..... ۱-۲-۴- اثر دبی اوج هیدروگراف
۶۷	..... ۲-۲-۴- طول و عمق فرسایش و طول رسوب‌گذاری
۷۲	..... ۳-۲-۴- اثر زمان پایه هیدروگراف
۷۵	..... ۴-۲-۴- اثر قطر ذرات رسوبی
۷۸	..... ۵-۲-۴- اثر جریان پایه
۸۱	..... ۳-۴- هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن
۸۲	..... ۱-۳-۴- اثر دبی اوج هیدروگراف
۸۳	..... ۲-۳-۴- اثر زمان پایه هیدروگراف
۸۴	..... ۳-۳-۴- اثر قطر ذرات
۸۵	..... ۴-۳-۴- اثر جریان پایه
۸۷	..... ۴-۴- مقایسه هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و نامتقارن
۸۹	..... ۵-۴- پارامتر غیرماندگاری

فصل پنجم: نتیجه‌گیری

۹۳	..... ۱-۵- مقدمه
۹۳	..... ۱-۱-۵- هیدروگراف‌های مثلثی متقارن
۹۴	..... ۲-۱-۵- هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن
۹۴	..... ۲-۵- پیشنهادات
۹۷	..... منابع

فهرست اشکال

صفحه

عنوان اشکال

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

- ۱-۲- تغییر شکل بستر رسوبی در آزمایش‌های اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۵) ۱۹
- ۲-۲- هیدروگراف‌های جریان ورودی در آزمایش‌های بمبار و همکاران (۲۰۱۱) ۲۰

فصل سوم: مواد و روش‌ها

- ۱-۳- منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی استفاده شده در این تحقیق برای رسوبات با $d_{50} = 7mm$ ۲۷
- ۲-۳- منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی استفاده شده در این تحقیق برای رسوبات با $d_{50} = 3.5mm$ ۲۷
- ۳-۳- منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی استفاده شده در این تحقیق برای رسوبات با $d_{50} = 1.85mm$ ۲۸
- ۴-۳- منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی استفاده شده در این تحقیق برای رسوبات $d_{50} = 0.8mm$ ۲۸
- ۵-۳- نمای بالای قاب فلزی نمونه‌بردار ۳۰
- ۶-۳- نمای کنار قاب فلزی نمونه‌بردار ۳۱
- ۷-۳- نمایی از زبری ثابت ۳۳
- ۸-۳- تغییرات کانال آزمایشگاهی ۳۴
- ۹-۳- دستگاه اینورتور استفاده شده در این تحقیق برای ایجاد جریان غیرماندگار ۳۵

۳-۱۰	..... موتور الکتریکی انتهای کانال	۳۶
۳-۱۱	..... پلان قسمت شیار و مشخصه‌های آن	۳۸
۳-۱۲	..... تغییرات کانال آزمایشگاهی به منظور به دست آوردن رابطه دبی-اشل	۴۰
۳-۱۳	..... منحنی دبی-اشل در کانال آزمایشگاهی	۴۱
۳-۱۴	..... هیدروگراف‌های مثلثی متقارن برداشت شده در آزمایشات	۴۵
۳-۱۵	..... نمونه‌ای از هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن	۴۸

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱	..... روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست در برابر زمان تحت تاثیر دبی‌های اوج مختلف و زمان پایه یکسان برای رسوبات با قطر ۰/۸ میلی‌متر	۵۹
۴-۲	..... تغییرات تجمعی میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست بر حسب گرم برای رسوبات با قطر ۰/۸ میلی‌متر	۶۵
۴-۳	..... تغییرات تجمعی میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست بر حسب گرم برای رسوبات با قطر ۱/۸۵ میلی‌متر	۶۵
۴-۴	..... تغییرات دبی رسوب منتقل شده در مقابل تغییرات دبی جریان ورودی $2Hy.A$	۶۶

- ۴-۵- طول فرسایش برحسب سانتی‌متر برای هیدروگراف‌های با دبی اوج و زمان پایه متفاوت و ذرات رسوبی با قطر $0/8$ میلی‌متر ۶۸
- ۴-۶- طول رسوب‌گذاری برحسب سانتی‌متر برای هیدروگراف‌های با دبی اوج و زمان پایه متفاوت و قطر ذرات رسوبی ثابت و برابر با $0/8$ میلی‌متر ۶۹
- ۴-۷- میزان عمق فرسایش برحسب سانتی‌متر برای هیدروگراف‌های با دبی اوج و زمان پایه متفاوت و قطر ذرات رسوبی ثابت و برابر با $0/8$ میلی‌متر ۷۰
- ۴-۸- روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست در برابر زمان تحت تاثیر هیدروگراف‌های با دبی اوج یکسان و زمان پایه متفاوت ۷۳
- ۴-۹- تغییرات متوسط دبی رسوب تحت تاثیر دبی و زمان پایه مختلف هیدروگراف ۷۴
- ۴-۱۰- روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست تحت تاثیر هیدروگراف‌های با دبی اوج و زمان پایه یکسان و قطر متفاوت ذرات ۷۶
- ۴-۱۱- روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست در برابر زمان، تحت تاثیر جریان پایه و بدون وجود آن برای هیدروگراف $2Hy.B$ ۸۰
- ۴-۱۲- روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست در برابر زمان، تحت تاثیر هیدروگراف های مثلثی نامتقارن و دبی اوج متفاوت و زمان پایه یکسان ۸۲

- ۴-۱۳- روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست در برابر زمان تحت تاثیر هیدروگراف
 های مثلثی نامتقارن با دبی اوج یکسان و زمان پایه متفاوت ۸۴
- ۴-۱۴- روند تغییر میزان انتقال رسوبات به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف های ورودی $2Hy.BL$
 با دو دانه بندی متفاوت ۸۵
- ۴-۱۵- تغییرات بار کف منتقل شده برای هیدروگراف ورودی $2Hy.BL$ با جریان پایه و بدون
 جریان پایه ۸۶
- ۴-۱۶- تغییرات پارامتر غیرماندگاری جریان در مقابل تغییرات بار کف ۹۰
- ۴-۱۷- تغییرات پارامتر غیرماندگاری جریان در مقابل تغییرات بار کف در آزمایش های بمبار ۹۱

فهرست جداول

صفحه

عنوان جداول

فصل سوم: مواد و روش‌ها

- ۳-۱- مشخصات فیزیکی ذرات رسوبی استفاده شده در این تحقیق ۲۹
- ۳-۲- محدوده تغییرات فرکانس، عمق ورودی جریان و دبی جریان ورودی ۴۲
- ۳-۳- خصوصیات هیدروگراف‌های مثلثی متقارن مورد آزمایش ۴۶
- ۳-۴- مشخصات هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن مورد آزمایش ۴۷
- ۳-۵- گروه‌های بدون بعد به دست آمده از روش π باکینگهام ۵۶

فصل چهارم: نتایج و بحث

- ۴-۱- مقادیر اوج سدیگراف رسوب و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست
بر حسب گرم ۶۱
- ۴-۲- وزن رسوبات حمل شده توسط شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف‌های مثلثی برای رسوبات با
قطر ۰/۸ میلی‌متر ۶۲
- ۴-۳- وزن رسوبات حمل شده توسط شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف‌های مثلثی برای رسوبات با
قطر ۱/۸۵ میلی‌متر ۶۳

۴-۴	وزن رسوبات حمل شده توسط شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف‌های مثلثی برای رسوبات
۶۳	با قطر ۳/۵ میلی‌متر
۵-۴	وزن رسوبات حمل شده توسط شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف‌های مثلثی برای رسوبات
۶۴	با قطر ۷ میلی‌متر
۶-۴	طول و عمق فرسایش و طول رسوب‌گذاری برحسب سانتی‌متر برای ذرات رسوبی با قطر
۷۰	متفاوت و هیدروگراف $4Hy.A$
۷-۴	طول و عمق فرسایش و طول رسوب‌گذاری برحسب سانتی‌متر برای ذرات رسوبی با قطر
۷۱	متفاوت و هیدروگراف $3Hy.A$
۸-۴	طول و عمق فرسایش و طول رسوب‌گذاری برحسب سانتی‌متر برای ذرات رسوبی با قطر
۷۲	متفاوت و هیدروگراف $2Hy.A$
۹-۴	طول و عمق فرسایش و طول رسوب‌گذاری برحسب سانتی‌متر برای ذرات رسوبی با قطر
۷۲	متفاوت و هیدروگراف $1Hy.A$
۱۰-۴	کل رسوبات منتقل شده به پایین‌دست توسط هیدروگراف‌های ورودی
۱۱-۴	مقادیر اوج هیدروگراف رسوب و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین‌دست
۷۷	تحت تاثیر هیدروگراف $1Hy.C$

۱۲-۴	مقادیر اوج هیدروگراف رسوب و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست	
۷۷	تحت تاثیر هیدروگراف $2Hy.C$	
۱۳-۴	مقادیر اوج هیدروگراف رسوب و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست	
۷۸	تحت تاثیر هیدروگراف $3Hy.C$	
۱۴-۴	مقادیر اوج هیدروگراف رسوب و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست	
۷۸	تحت تاثیر هیدروگراف $4Hy.C$	
۱۵-۴	مقدار کل رسوب منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف های مختلف جریان، با و	
۸۱	بدون جریان پایه	
۱۶-۴	کل رسوبات منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف های مثلثی نامتقارن برای	
۸۳	ذرات رسوبی با قطر $3/5$ و $1/85$ میلی متر و زمان پایه 150 و 180 ثانیه	
۱۷-۴	میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست برای هیدروگراف های مثلثی متقارن و نامتقارن، با	
۸۶	و بدون جریان پایه	
۱۸-۴	مقایسه رسوبات منتقل شده به پایین دست در هیدروگراف های مثلثی متقارن و مثلثی	
۸۸	نامتقارن	

فصل اول

مقدمه و هدف

۱-۱- مقدمه

مواد جامد رسوب که توسط جریان‌های سطحی حمل و یا ته‌نشین می‌شود گذشته از آنکه اکوسیستم رودخانه را تحت تاثیر قرار داده و آن را تحت کنترل دارد، میزان آن یکی از پارامترهای اصلی و مهم در طراحی، اجرا و بهره‌برداری کلیه پروژه‌های آبی اعم از سدسازی، آبیاری و زهکشی، انتقال و تصفیه آب، آبخیزداری، کنترل و پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی می‌باشد. بطوریکه عدم اطلاع از مقدار آن علاوه بر اینکه هزینه‌های زیادی را بر طرح تحمیل می‌کند، مشکلات و مسائل فنی زیادی را در زمان بهره‌برداری به همراه دارد.

۱-۲- تقسیم‌بندی رودخانه‌ها

دانشمندان علم هیدرولوژی رودخانه‌ها را از نظر دوام جریان به سه دسته تقسیم نموده‌اند.

۱. رودخانه‌های دائمی^۱

۲. رودخانه‌های تواتری^۲

۳. رودخانه‌های فصلی^۳

Perennial streams
Ephemeral streams
Seasonal streams

۱-۳- سیلاب

به جریان عظیمی گفته می‌شود که سطح آب در آن بالا آمده و زمین‌های اطراف را که معمولا در زیر آب نیست، غرقاب می‌کند و با به زیر آب بردن زمین‌ها و نواحی ساحلی، اثرات زیان‌آوری بر جای می‌گذارد. یکی از دلایل وقوع سیلاب، توزیع غیریکنواخت زمانی و مکانی بارندگی می‌باشد.

۱-۳-۱- انواع سیلاب

۱-۱-۳-۱- سیلاب‌های رودخانه‌ای

اغلب سیلاب‌ها حاصل طغیان جریان آب رودخانه، یا جریان‌های فصلی و موقت هستند، که به علت حجم زیاد آب بستر معمولی رودخانه قادر به تخلیه آب نبوده و در نتیجه آب از بستر رودخانه خارج شده و بر روی اراضی مجاور رودخانه گسترش می‌یابد. اینگونه سیلاب‌ها معمولا در روی جلگه، دشت، مخروط افکنه و دلتا رخ می‌دهد. از آنجا که مناطق ذکر شده به دلیل توان بالا برای جذب جمعیت، توسط انسان اشغال شده‌اند بنابراین بیشترین آسیب‌های ناشی از این سیل را نیز در خود دارند.

۱-۳-۱-۲- سیلاب‌های ساحلی

در نواحی ساحلی دنیا بویژه نواحی ساحلی پست دریاها و اقیانوس‌های منطقه حاره به دنبال بروز برخی پدیده‌های اقلیمی چون طوفان‌های دریایی، هاریکان^۴ و تیفون^۵ یا پدیده‌های غیراقلیمی چون وقوع زلزله در بستر دریا (سونامی)، آب و امواج سهمگین به ساحل هجوم آورده و گاهی تا مسافت زیادی در ساحل

Hurricane
Typhone

پیشروی می‌نماید و موجب وارد آمدن خسارات و تلفات فراوان به ساحل‌نشینان و تاسیسات ساحلی می‌گردد.

۳-۱-۳-۱- سیلاب‌های شهری

منظور آن دسته از سیلاب‌هایی است که منشا متفاوت از دو نوع قبلی دارند. در سطح شهر ممکن است سیلاب‌هایی با منشا ذکر شده در فوق رخ دهد. اما اغلب سیلاب‌هایی در سطح شهرها رخ می‌دهد که نه ناشی از طغیان رودخانه است و نه هجوم آب دریا، بلکه اینگونه سیلاب‌ها به دنبال بارش شدید باران در سطح شهر و به علت غیر قابل نفوذ بودن سطوح شهری، اتفاق می‌افتد این سیلاب‌ها اغلب به صورت آب‌گرفتگی سطح معابر، خیابان‌ها و منازل، بویژه در مناطق پست شهر ظاهر می‌شوند.

۳-۱-۳-۱-۴- سیلاب‌های ناگهانی^۶ (آنی)

سیلاب‌های ناگهانی وقایع کوتاه مدتی بوده و دارای نقطه اوج بالا هستند که ناشی از بارش‌های شدید بوده و معمولاً در حوزه‌های کوچک اتفاق می‌افتند و به صورت طغیان از مسیر و کناره‌های رودخانه جریان می‌یابد و تمام موانع موجود در سر راه خود را یکجا شسته و تخریب می‌کند. تغییر حالت و وضعیت رودخانه‌های آرام به شرایط سیلابی مخرب ممکن است چندین بار در طول سال اتفاق افتد. وقوع این نوع سیلاب‌ها در فصل بهار و تابستان ناشی از عکس‌العمل سریع هیدرولیکی حوزه نسبت به بارش شدید می‌باشد و به دلیل ماهیت غافلگیر کننده این نوع سیلاب، منجر به خسارات و ضایعات قابل توجه می‌گردد. سیلاب‌های ناگهانی نمونه‌ای بارز از سیلاب‌هایی هستند که نیاز به بیشترین توجه و رسیدگی توسط سازمان‌های دولتی و توده مردم را دارند (به نقل از مه‌باب قدس، ۱۳۸۱).

۱-۴- رسوب

رسوب ذرات تکه‌تکه شده‌ای است که به وسیله تجزیه فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها به وجود می‌آیند. دامنه تغییرات آن‌ها از ذرات کلوئیدی تا قلوه سنگ‌های بزرگ می‌باشد و از نظر شکل ظاهری از کاملاً گردگوشه تا تیزگوشه تغییر می‌کنند. رسوبات در ترکیبات معدنی و وزن مخصوص نیز با هم متفاوتند، اما مواد غالب در آن‌ها کوارتز می‌باشد. زمانی که عامل حمل ذرات رسوبی آب باشد، آن را رسوبات رودخانه‌ای می‌نامند. بنا به تعریف سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS^۷) رسوبات رودخانه‌ای قطعه سنگ‌های ریز و درشتی می‌باشند که در اثر هوازدگی سنگ‌ها و خرد شدن آن‌ها بوجود می‌آیند و توسط آب حمل می‌گردند. بطور کلی رسوباتی که همراه آب حرکت می‌کنند به چهار دسته بارمعلق، باربستر، بارکف و بارشسته تقسیم می‌شوند.

طبقه‌بندی و تعاریف زیر مطابق با استانداردهای *ISO (ISO4363)* می‌باشد (به نقل از غلامی‌شهر و زراتی، ۱۳۷۶)؛

باربستر: آن قسمت از کل رسوب انتقالی است که شامل مصالح بستر می‌باشد و نرخ حرکت آن به ظرفیت انتقال کانال ربط داده می‌شود. یکی از خصوصیات بار مواد بستر، غیرماندگار بودن آن است.

بارمعلق: آن قسمت از کل رسوب انتقالی است که در حالت تعلیق بوسیله آشفتگی جریان آب برای دوره‌های زمانی قابل ملاحظه‌ای بدون تماس با بستر رودخانه نگه داشته می‌شود. این مواد عملاً با همان سرعتی که آب جریان دارد در حرکت می‌باشند.

بارکف: رسوبی که بطور پیوسته در تماس با بستر است و پیشروی آن توسط چرخش، جهش و لغزش انجام می‌گردد.

بار شسته: آن قسمت از بار معلق که اندازه آن کوچکتر از ذراتی است که در مواد بستر یافت می‌شود و حالت تعلیق آن دائمی‌تر می‌باشد را بارشسته می‌گویند. بنابراین در طول کانال، بدون نشست منتقل می‌گردد. دبی بارشسته در طول یک بازه تنها به ذرات قابل دسترسی در سطح حوزه بستگی دارد و به ظرفیت انتقال جریان وابسته نمی‌باشد.

۱-۵- فرسایش

عملیات حرکت و جابجایی ذرات خاک از سرچشمه اولیه فرسایش نامیده می‌شود. جریان آب در یک کانال، مواد موجود در کناره‌های بستر رودخانه را تا زمانی که انرژی موجود در جریان اجازه دهد، از جای خود حرکت داده و حمل خواهد کرد. معمولاً سه طیف از حرکت ذرات قابل تمایز می‌باشد:

۱. حرکت چرخشی و لغزشی ذرات

۲. حرکت جهشی ذرات

۳. حرکت ذرات در حالت تعلیق

زمانی که سرعت برشی بستر از مقدار بحرانی آن در آستانه حرکت تجاوز نماید، ذرات بستر در حالت یک تماس پیوسته با بستر به حالت چرخشی و لغزش به جلو حرکت می‌کنند. با افزایش مقدار سرعت برشی ذرات در طول بستر بوسیله جهش‌های کم و بیش متناوب به حرکت در خواهند آمد، که این حالت از حرکت، حرکت جهشی نامیده می‌شود. زمانی که مقدار سرعت برشی بستر از سرعت سقوط ذرات تجاوز نماید، ذرات رسوب به سطوحی که نیروهای آشفته‌گی بالابرنده بیشتر از وزن غوطه‌ور ذرات است انتقال می‌یابند، که در نتیجه ذرات بصورت معلق در خواهند آمد. معمولاً انتقال ذرات به شکل چرخش، لغزش، و

جهش، انتقال بارکف نامیده می‌شود، درحالی‌که ذرات معلق بعنوان بارمعلق نامیده می‌شود. علاوه بر این، بار در حالت تعلیق به جای اینکه از مواد بستر تامین شود می‌تواند شامل ذرات سیلت آورده شده از سطح حوزه باشد که این نوع بار، بارشسته نامیده می‌شود. غالباً اندازه ۵۰ میکرومتر را جهت تمایز مواد حاصل از بستر و مواد شسته برای این منظور استفاده می‌شود. از مشخصه‌های مهم موادشسته این است که غلظت آن تقریباً برای تمام نقاط مقطع عرضی رودخانه ثابت می‌باشد. این به این معنی است که تنها اندازه‌گیری یک نقطه برای تعیین بار شسته کل مقطع عرضی کافی خواهد بود. بارکف و بارمعلق می‌توانند بطور همزمان رخ دهند. اما ناحیه انتقالی بین این دو نوع کاملاً شناخته شده نیست (به نقل از غلامی شهر و زراتی، ۱۳۷۶).

۱-۶- اهداف و فرضیات تحقیق

یکی از مسائل و مشکلاتی که در رابطه با بهره‌برداری از منابع آبی اهمیت خاصی دارد مساله رسوب می‌باشد. حرکت رسوبات از حوزه آبریز علاوه براینکه منابع با ارزش خاک را از بین می‌برد در پایین‌دست نیز موجب کاهش ظرفیت ذخیره سدها، فرسوده شدن توربین‌ها، پرشدن کانال‌های آبیاری، مدفون نمودن تاسیسات انحراف آب و گاهی ایجاد اختلال در زمین‌های زراعی می‌گردد. در این تحقیق با استفاده از مدل فیزیکی ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک گروه آب دانشگاه صنعتی شاهرود، برای بررسی میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست در شرایط سیلابی آزمایش‌هایی انجام شد. این تحقیق دارای اهداف زیر می‌باشد:

۱- بررسی اثر دبی اوج بر روی میزان انتقال رسوبات به پایین‌دست.

۲- اثر زمان پایه بر روی میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست.

- ۳- اثر دانه‌بندی رسوبات بر روی میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست.
- ۴- اثر جریان پایه بر روی میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست.
- ۵- مقایسه هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و نامتقارن در میزان انتقال رسوبات.

فرضیات تحقیق بشرح زیر می‌باشد:

- ۱- میزان رسوبات کف انتقالی تحت تاثیر جریان سیلاب سریع بیشتر از سیلاب آرام است.
- ۲- میزان رسوبات انتقالی در زمان افزایش یا کاهش دبی یکسان نیست.
- ۳- زمان پایه هیدروگراف بر میزان رسوبات انتقالی موثر است.
- ۴- نقطه اوج هیدروگراف بر جریان رسوب موثر است.

فصل دوم

کلیات و مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱- مقدمه

فرسایش خاک یکی از مشکلات جهانی است که بطور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد که برای تشکیل یک سانتی‌متر خاک بیش از سیصد سال زمان لازم است. فرسایش آبی که توسط آب ایجاد می‌شود، مهم‌ترین معضل در تخریب اراضی جهان بوده و بمنزله تهدید جدی برای بقای بشر شناخته شده است. هر ساله بالغ بر بیست میلیارد تن رسوب توسط رودخانه‌های جهان انتقال یافته و در آب‌های ساکن ته‌نشین می‌شود (میرباقری، ۱۳۶۸). در ایران نیز سالیانه بیش از ۱۰۰ میلیون متر مکعب از گنجایش مفید سدها بر اثر ته‌نشست رسوبات کاسته می‌شود (جلالیان، ۱۳۷۳). رودخانه‌های ایران در مقایسه با رودخانه‌های جهان به دلیل شرایط هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، و فشار بیش از حد به اراضی حوزه‌های آبخیز، رسوبات بالاتری را حمل می‌کنند که همواره آسیب‌ها و خسارات زیادی را به دنبال دارند مهم‌ترین این خسارت‌ها عبارتند از:

۱. تخریب پل‌ها و سازه‌های کنار رودخانه

۲. عمیق‌تر شدن بستر کانال‌های خاکی

۳. کاهش پتانسیل انتقال رسوب در پایین‌دست

۴. پر شدن کانال‌های آبرسانی و کاهش عمق رودخانه‌ها

۵. رسوب‌گذاری در مخازن پشت سد و کاهش ظرفیت مخازن

۶. انتقال آلودگی‌ها

۲-۲- مروری بر تحقیقات پیشین

به لحاظ اهمیت و نقش پدیده انتقال رسوب در زمینه‌های مختلف مهندسی تعیین کمی بار رسوبی از دیرباز مورد توجه متخصصین رودخانه قرار گرفته است. گراف و سوزکا (۱۹۸۵) آزمایشاتی را در رابطه با انتقال رسوب تحت وضعیت جریان غیرماندگار انجام دادند. آن‌ها پارامتری برای غیرماندگاری جریان تعریف کردند که به صورت زیر می‌باشد:

$$p = \frac{1}{u_{*b}} \cdot \frac{y_p - y_b}{T_d} \quad (۱-۲)$$

u_{*b} سرعت برشی، y_p عمق جریان در نقطه اوج هیدروگراف، y_b عمق اولیه جریان (جریان پایه)، T_d زمان پایه هیدروگراف می‌باشد. آن‌ها نتیجه گرفتند که بی‌ثباتی جریان با افزایش پارامتر p افزایش می‌یابد. همچنین نتیجه گرفتند که حجم رسوبات به دست آمده در حالت غیرماندگار همواره بیشتر از مقدار آن در حالت ماندگار می‌باشد.

رید و همکاران (۱۹۸۵) الگوی بار کف را نسبت به هیدروگراف جریان برای یازده سیل در آبراه لندن بررسی کردند. با رخداد اولین سیل پس از یک دوره خشک طولانی، مشاهده شد که یک تاخیر زمانی در شاخه نزولی هیدروگراف وجود دارد که علت آن سست شدن مواد بستر بود. در مقابل، وقتی سیلابی به دنبال سیل دیگر جریان یافت آن‌ها توضیح دادند که مقدار قابل توجهی از رسوبات بارکف در شاخه صعودی هیدروگراف ایجاد شده است.

سوزکا (۱۹۸۷) بر روی هیدرولیک رودخانه‌های کوهستانی که دارای شیب زیاد و زبری‌های بزرگ می‌باشند، تحقیق کرد و تاثیر سیلاب ناگهانی بر روی میزان انتقال رسوبات در آن رودخانه‌ها را مورد

بررسی قرار داد. او دو دانه‌بندی مختلف رسوب و ۹ شیب کف را در آزمایشات جریان غیرماندگار مورد استفاده قرار داد. او در ابتدا انتقال رسوبات تحت جریان ماندگار را مورد بررسی قرار داد و سپس آزمایشات مربوط به جریان غیرماندگار را با استفاده از هیدروگراف‌های مثلثی متقارن با دوره‌های زمانی مختلف که بر روی رسوبات متحرک بستر جریان پیدا می‌کند را انجام داد و پارامتری را جهت توضیح درجه غیرماندگاری جریان و همچنین پارامتر دومی (η) را که افزایش یا کاهش میزان انتقال رسوبات در جریان غیرماندگار را مشخص می‌کند، تعیین نمود و نشان داد که ترکیب این پارامتر با پارامتر غیرماندگاری (p) به خوبی انتقال رسوبات بستر را در شرایط غیرماندگار شرح می‌دهد.

$$p = \frac{1}{u_*} \cdot \frac{y_p - y_b}{T_d} \quad (2-2)$$

$$\eta = \frac{s_0 \cdot d_{50}}{y_p} \quad (3-2)$$

s_0 شیب بستر کانال و d_{50} اندازه متوسط قطر رسوب می‌باشد.

کوهنل (۱۹۹۲) بر روی دو رودخانه ماسه‌ای در ایالات متحده آمریکا تحقیق کرد. او متوجه شد که میزان انتقال بارکف در طول شاخه صعودی هیدروگراف در مقابل شاخه نزولی آن، در وضعیت جریان‌های شدید بیشتر است. او همچنین نتیجه گرفت که شکل و فروپاشی زبری‌ها، باید دلیلی برای شکل‌گیری منحنی‌های برگشتی باشد و در همان سال بیان داشت که در جریان‌های کوچک، نرخ انتقال بارکف در شاخه نزولی هیدروگراف، بیشتر است و این موضوع تاخیر زمانی در ساخت و تخریب شکل‌های بستر مرتبط با جریان را نشان می‌دهد.

ین و لی (۱۹۹۲) آزمایش‌هایی را بر روی فرآیند رسوب‌گذاری در رودخانه‌های آبرفتی انجام دادند و نتیجه گرفتند که پارامتر غیرماندگاری جریان، تاثیر زیادی روی شکل کف و طبقه‌بندی رسوبات دارد.

آن‌ها همچنین نشان دادند که عمق شستشو، رسوب‌گذاری و طبقه‌بندی عرضی رسوبات، با افزایش پارامتر غیرماندگاری جریان، افزایش می‌یابد.

وانگ و پلیت (۱۹۹۴) مطالعه آزمایشگاهی روی تغییر شکل بستر در شرایط جریان غیرماندگار انجام دادند و یک تاخیر زمانی بین وقوع دبی اوج هیدروگراف و دبی اوج هیدروگراف انتقال رسوب مشاهده کردند و آن را تاخیر اینرسی کف نامیدند.

ین و لی (۱۹۹۵) آزمایشاتی را بر روی کف کانال با شرایط جریان غیرماندگار انجام دادند نتایج آزمایشات نشان داد که تغییر شکل کف و ذرات رسوب، همبستگی خوبی با غیرماندگاری هیدروگراف دارد. آن‌ها همچنین نشان دادند که شکل کف، وابسته به پارامتر غیرماندگاری جریان است. بعلاوه، روابط رگرسیون برای پروفیل عرضی کف نشان داد که تغییرات اندازه رسوبات و کل مقدار دبی رسوب، در پارامتر غیرماندگاری جریان دخالت دارند.

سونگ و گرف (۱۹۹۶) مطالعه آزمایشگاهی روی میزان انتقال رسوبات بستر در شرایط جریان غیرماندگار انجام دادند و بیان داشتند که شدت تلاطم در شاخه صعودی هیدروگراف، معمولاً بزرگتر از شاخه نزولی آن است و این نسبت با افزایش پارامتر غیرماندگاری هیدروگراف کمی بیشتر می‌شود. آن‌ها بیان داشتند که افزایش شدت تلاطم در شاخه صعودی هیدروگراف ممکن است به علت جلو زدن موج سیل از جریان پایه باشد.

گریفیث و ساترلند (۱۹۹۷) انتقال بار بستر را توسط امواج انتقالی به‌طور تجربی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند که اختلاف معنی‌داری بین انتقال بار بستر اندازه‌گیری شده در شرایط جریان ماندگار و غیرماندگار وجود دارد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که حداکثر تپه‌های شنی ایجاد شده بعد از رسیدن جریان به اوج در یک تاخیر زمانی به مدت ۵ تا ۱۰ درصد از مدت زمان هیدروگراف اتفاق افتاده است.

کارپت و یانگ (۱۹۹۸) مطالعات آزمایشگاهی در مورد موج انتقال یافته ناشی از شکست سد را بر روی بسترهای قابل حرکت مطالعه نمودند و مشاهده کردند که شدت آبشستگی کف در ابتدای مجرا بیشتر است.

رید و همکاران (۱۹۹۸) اثر جریان سیلاب سریع را در مورد انتقال بار کف در آبراهه‌های بیابانی با احداث یک بازه تحقیقاتی مونیتورینگ شده مورد توجه قرار داده، نسبت رواناب تولید شده به میزان بارندگی بین ۰/۰۷ تا ۰/۴ متغیر بود که میانگینی برابر ۰/۲ انتخاب گردید. نتایج به دست آمده از سایر مناطق ۰/۱۴ تا ۰/۲۷ را نشان می‌داد که حاکی از تغییرات زیاد چنین بارش‌هایی در مناطق مختلف می‌باشد.

دوسوتر و ورهون (۲۰۰۱) شبیه‌سازی انتقال رسوب را در شرایط سیلابی انجام دادند و نظر ارائه شده از طرف کوهنل (۱۹۹۲) را با این پیشنهاد تایید کردند که شدت تلاطمی که باعث ایجاد نیروی بالابرنده بر روی ذرات رسوب می‌شود، در شاخه صعودی هیدروگراف نسبت به شاخه نزولی آن بزرگتر باشد و علت آن را جلو زدن موج سیل از جریان پایه دانستند. ایشان همچنین آزمایش‌های میدانی و آزمایش‌هایی را بر روی بار معلق در وضعیت جریان غیرماندگار انجام دادند. نتایج نشان داد که پارامتر غیرماندگاری جریان تاثیر زیادی بر روی شکل کف و طبقه‌بندی رسوبات دارد. همچنین عمق شستشو، رسوب‌گذاری و طبقه‌بندی عرضی، با افزایش پارامتر غیرماندگاری، افزایش می‌یابد، ایشان نشان دادند که میزان رسوبات منتقل شده در اثر هیدروگراف $T_r = 40s$ و $T_f = 80s$ که به ترتیب مدت زمان شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف می‌باشند با میزان رسوبات منتقل شده در اثر هیدروگراف $T_r = 80s$ و $T_f = 40s$ با همان تراز آب متفاوت است.

کو (۲۰۰۲) جریان غیرماندگار را در کانال‌های روباز بر روی بستر ثابت و بستر متحرک مورد آزمایش قرار داد. پروفیل سرعت برای جریان یکنواخت ماندگار اندازه‌گیری و از روی آن دبی جریان محاسبه شد.

ایشان ۱۲ آزمایش جریان غیرماندگار را با استفاده از هیدروگراف‌های مثلثی بر روی کف‌های متحرک انجام داد. قبل از انجام آزمایشات جریان غیرماندگار، آزمایشات جریان ماندگار انجام پذیرفت. نتایج آزمایش نشان داد که پروفیل لگاریتمی سرعت برای جریان‌های غیرماندگار با انتقال بار کف در ناحیه خطی جریان وجود دارد همچنین مشاهده کرد که وقوع حرکت بار کف با پایداری و دوام جریان کاهش می‌یابد. همچنین اظهار داشت به‌جای عمق جریان و مدت زمان هیدروگراف در پارامتر p ، با در نظر گرفتن دبی جریان و مدت زمان شاخه صعودی هیدروگراف به‌صورت زیر اثر پارامتر ناپایداری واضح‌تر خواهد بود.

$$\Omega = \frac{1}{u_{0b}^2} \times \frac{Q_p - Q_b}{T_r} \quad (۴-۲)$$

Q_p دبی ماکزیمم جریان، Q_b دبی جریان پایه و T_r زمان شاخه صعودی هیدروگراف می‌باشند.

اسپینوین (۲۰۰۳) جریان ناشی از شکست یک سد را روی بستر قابل حرکت و تخت مورد بررسی قرار داد و از طریق عکس‌برداری و قرار دادن فریم‌های به دست آمده در فواصل زمانی کوتاه، روند پیشروی سیل ایجاد شده در اثر خرابی را تحلیل نمود. نتایج به دست آمده از تصاویر، حاکی از جبهه قوی پیشروی در ابتدای شکست سد می‌باشد که می‌تواند فرسایش قابل ملاحظه‌ای در بستر ایجاد کند.

لیال و همکاران (۲۰۰۳) در مورد اثر موج حاصل از شکست یک سد که بصورت پدیده‌ای غیرماندگار عمل می‌کند بر تغییرات ایجاد شده روی یک بستر قابل حرکت (مواد شنی و مواد سبک متخلخل) آزمایشاتی را در کانال آزمایشی به طول ۱۹/۲ عرض ۰/۵ و ارتفاع ۰/۷ متر انجام دادند. در این حال با توجه به کوتاه بودن فاصله زمانی حرکت موج از روش عکس‌برداری استفاده شد و عکس‌های متعددی در

فواصل زمانی ۰/۵۲ تا ۷ ثانیه برداشت گردید. نتایج نشان داد که پیشانی موج بطور واضح در بستر متخلخل و سبک تر نسبت به بسترهای شنی و ثابت کوچک تر است.

(لی و همکاران، ۲۰۰۴) آزمایشاتی را به منظور بررسی روند انتقال رسوبات بار کف تحت تاثیر جریان غیرماندگار و مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از آزمایشات جریان ماندگار انجام دادند. بستر متحرک ایجاد شده از رسوبات یکنواخت با متوسط قطر ۲/۰۸ میلی متر ایجاد گردید آزمایشات در یک کانال آزمایشگاهی به طول ۲۱ متر و عرض و ارتفاع برابر ۶۰ سانتی متر و تنظیم شده بر روی شیب ۰/۰۰۲ انجام شد. محدوده دبی در آزمایشات جریان ماندگار از ۰/۰۴ تا ۰/۱۸ متر مکعب بر ثانیه و در آزمایشات جریان غیرماندگار از ۰/۱۴ تا ۰/۰۵ متر مکعب بر ثانیه بر متر بود. همچنین محدوده زمان پایه برای هیدروگرافهای تولید شده از ۱۲۶۰ تا ۴۸۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد. نتایج پژوهشهای آنها در مورد روند انتقال رسوبات کف در شرایط جریان غیرماندگار نشان داد بین دبی حداکثر هیدروگراف و حداکثر هیدروگراف رسوب تاخیری وجود دارد که ناشی از تاثیر اندازه قطر ذرات است این میزان تاخیر حدود ۶ تا ۱۵ درصد از دوره هیدروگراف را تشکیل می دهد. با تاخیر ایجاد شده میزان بار رسوبی کف در شرایط غیرماندگار بیشتر از مقادیر پیش بینی شده می باشد، همچنین آنها به این نتیجه رسیدند که میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست در اثر شاخه صعودی هیدروگراف کمتر از میزان رسوبات منتقل شده در اثر شاخه نزولی هیدروگراف می باشد. همچنین مانند دیگر محققان پارامتر غیرماندگاری برای جریان تعریف کردند که میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست با افزایش پارامتر غیرماندگاری افزایش پیدا می کند.

ژیگسان و همکاران (۲۰۰۴) اولین مطالعات محاسباتی را در مورد هیدرولیک کفهای متحرک و ارزیابی انتقال رسوب و تغییرات بستر را از طریق مدل کامپیوتری انجام دادند. ایشان یک مدل تئوری برمبنای اصل بقای جرم در آبراهه های کم عمق ارائه دادند نتایج آنها نشان داد که با شکست سد ابتدا فرسایش و

شستشوی شدیدی بوجود آمده و همچنان که به سمت پایین دست منتقل می‌گردد از شدت آن کاسته می‌شود. شرایط فوق موجب شستشوی زیاد در اطراف سد می‌گردد.

کوهن و همکاران (۲۰۰۵) نیز مطالعاتی را در مورد انتقال رسوب تحت جریان سیلاب سریع در بعضی از رودخانه‌های منطقه فلسطین اشغالی انجام دادند. نتایج نشان داد مدت زمان دوام جریان در این نوع آبراهه‌ها کم اما شدت جریان حداکثر تقریباً زیاد است. لذا هیدروگراف سیلاب‌های حاصل عمدتاً دارای راس نسبتاً تیز بوده، هیدروگراف‌های ثبت شده افزایش دبی جریان را در مدت زمان خیلی کم نشان می‌دهند که تداعی کننده موج حاصل از شکست سد می‌باشد.

اسکات (۲۰۰۶) با مرور مطالعات انجام شده در مورد انتقال رسوب در رودخانه‌های فصلی رابطه‌ای بصورت زیر ارائه داد.

$$q_s = aV^bY^c \left(1 - \frac{C_f}{106^d} \right) \quad (۵-۲)$$

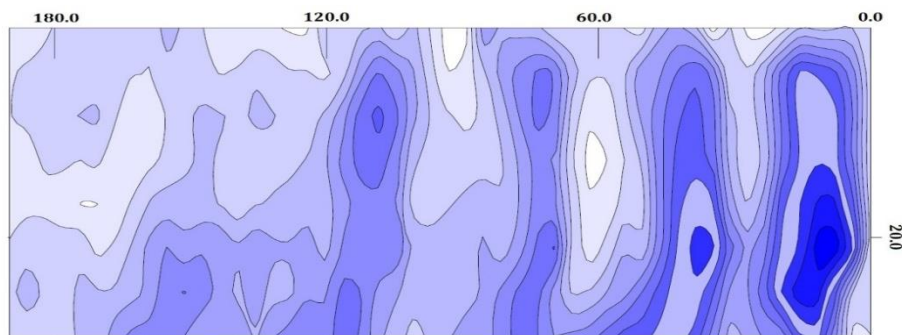
در این رابطه q_s ظرفیت مواد کف انتقالی بر حسب متر مربع بر ثانیه، V سرعت متوسط بر حسب متر بر ثانیه، Y عمق جریان بر حسب متر، C_f غلظت بر حسب قسمت در میلیون و b و c و d نمای کمیت‌های رابطه و a ضریب می‌باشد.

پاتیرانا و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعاتی که بر روی جریان ماندگار و غیر ماندگار انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که سرعت برشی در جریان ماندگار و غیرماندگار یکی نیست. آن‌ها مشاهده کردند که سرعت برشی جریان غیرماندگار در شاخه صعودی هیدروگراف بزرگ‌تر از مقدار آن در حالت ماندگار و برای

شاخه نزولی کوچک‌تر از حالت ماندگار است. بعلاوه مشاهده کردند وقتی ناپایداری جریان افزایش می‌یابد، اختلاف در سرعت برشی بین شاخه صعودی و نزولی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

حسن و همکاران (۲۰۰۶) بر روی پوشش در رودخانه‌های با کف شنی تحقیق کردند و آزمایشاتی را با هیدروگراف‌های متقارن و نامتقارن انجام دادند و در آزمایشات خود، از افزایش تدریجی دبی استفاده کردند در آزمایش‌های متقارن با مدت کم (حدود یک ساعت)، مشابه دیگر محققان یک تاخیر زمانی را مشاهده کردند. همچنین آن‌ها نتیجه گرفتند که میزان انتقال رسوبات در شاخه صعودی هیدروگراف بیشتر از میزان انتقال رسوبات در شاخه نزولی هیدروگراف می‌باشد.

اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۵) آزمایشاتی را بر روی رسوبات بار کف تحت جریان غیرماندگار انجام دادند. هیدروگراف‌های مورد استفاده در آزمایش‌های ایشان شامل هیدروگراف‌های مثلثی با زمان پایه ۶۰،۴۰ و ۸۰ ثانیه بود. پنج دبی متفاوت بعنوان دبی اوج برای هیدروگراف‌ها در نظر گرفته شد. همچنین آن‌ها آزمایشات خود را در سه شیب ۰/۰۰۶، ۰/۰۱۴ و ۰/۰۱۸ از کانال آزمایشگاهی انجام دادند. سه نوع رسوب در اندازه‌های مختلف با قطر متوسط ۱/۵، ۲/۱ و ۳ میلی‌متر به عنوان رسوبات بار کف مورد استفاده قرار گرفته شد. نتایج نشان داد که در آزمایشاتی با هیدروگراف‌های مشابه از نظر دبی حداکثر، متوسط دبی رسوب، با افزایش زمان پایه هیدروگراف روند کاهشی داشته ولی میزان رسوبات انتقالی همواره نسبت به شرایط جریان ماندگار بیشتر است. با طولانی شدن زمان پایه هیدروگراف سیلاب، دبی متوسط بار کف انتقالی به مقدار بار کف انتقال یافته به شرایط ماندگار نزدیک‌تر می‌شود. آن‌ها نشان دادند که تغییر شکل بستر ناشی از جابجایی ذرات کف در ابتدای بستر بیشترین مقدار را دارد از اینرو مقاومت ناشی از تغییر شکل بستر در برابر جریان، به شدت افزایش یافته و می‌تواند بر میزان رسوبات انتقالی موثر باشد.



شکل ۱-۲- تغییر شکل بستر رسوبی در آزمایش اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۵)

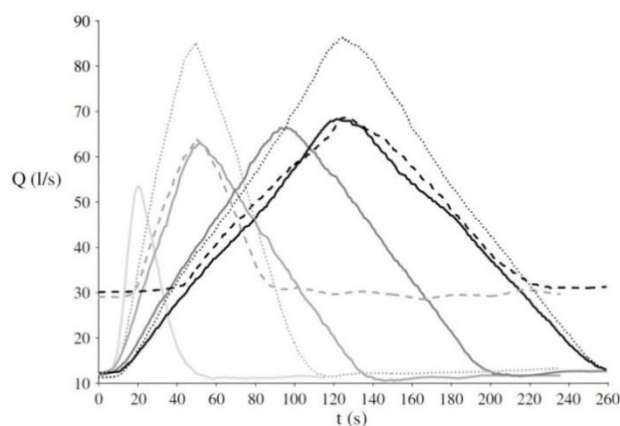
همچنین نتیجه گرفتند که مدت زمان صعود شاخه بالارونده هیدروگراف، بر میزان بار کف انتقالی موثر است. ایشان همچنین نتیجه گرفتند که شیب کف مهم‌ترین عامل در انتقال رسوب می‌باشد. زمان پایه هیدروگراف نقش موثری بر میزان رسوب انتقالی دارد و با افزایش زمان پایه هیدروگراف، دبی انتقال کاهش می‌یابد. فرم بستر نقش زیادی در مقاومت ایجاد شده در برابر جریان داشته و جریان انتقال رسوب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نسبت دبی رسوب در حالت غیرماندگار به دبی رسوب در حالت ماندگار در آزمایشات آن‌ها، با نتایج آزمایشات لی و همکاران (۲۰۰۴) هماهنگی خوبی نشان داد.

متئو و همکاران (۲۰۰۸) یک روش برای تعریف و پیش‌بینی روند شستشو، تحت جریان غیرماندگار در شرایط پایدار بدون بعد زمانی ارائه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که نسبت بین شسته شدن عمق و عمق بالقوه شستشو در کف، برای هیدروگراف داده شده می‌تواند به عنوان تابعی از پارامتر زمان مشخص تخمین زده شود.

بیلی (۲۰۰۸) اندازه‌گیری جریان و انتقال رسوب را در طول فصل بارانی (جولای و آگوست) در رودخانه گرب-اودا که دارای شیب، کف شن و ماسه و جزو رودخانه‌های فصلی به حساب می‌آید، انجام داد. عدد فرود برای بررسی وقوع شرایط فوق بحرانی و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های ساختار رسوب محاسبه گردید.

تغییرات غلظت رسوبات معلق با دبی آنالیز شد و منحنی‌های ساده برای انتقال بار معلق و بار کف استخراج گردید. همچنین ایشان تعدادی از معادلات پیش‌بینی بار کف را برای داده‌های رودخانه مذکور بررسی کرد.

بیلی (۲۰۱۱) مطالعاتی را در زمینه انتقال رسوب در شرایط سیلاب ناگهانی انجام داد و به این نتیجه رسید که میزان رسوبات انتقالی در شرایط جریان غیرماندگار نسبت به شرایط جریان ماندگار بیشتر است. بمبار و همکاران (۲۰۱۱) مجموعه‌ای از آزمایش‌ها را بر روی بار کف تحت شرایط جریان غیر ماندگار انجام دادند. آن‌ها آزمایشات خود را در یک کانال آزمایشگاهی با طول ۱۸ متر و عرض و ارتفاع به ترتیب ۸۰ و ۷۵ سانتی‌متر و با شیب کف ۰/۰۰۵ انجام دادند. بستر متحرک در آزمایشات آن‌ها به ارتفاع ۸ سانتی‌متر و از ذرات شنی با قطر متوسط ۴/۸ میلی‌متر تشکیل گردید. آن‌ها مجموعه‌ای از هیدروگراف‌های مثلی و دوزنقه‌ای با دبی اوج بین ۵۵ تا ۸۵ لیتر بر ثانیه و زمان پایه ۶۰ تا ۲۶۰ ثانیه را بر روی بستر متحرک اعمال کردند.



شکل ۲-۲- هیدروگراف‌های جریان ورودی در آزمایش‌های بمبار و همکاران (۲۰۱۱)

بار کف انتقال یافته توسط جریان، در پایین دست کانال و در فواصل زمانی ۱۵ ثانیه، توسط سبدهایی که دارای روزنه‌های ریز بود، جمع‌آوری گردید. نتایج آزمایش نشان داد که نرخ انتقال بار کف به دنبال تغییرات زمانی هیدروگراف‌های مثلثی و ذوزنقه‌ای، تاخیر زمانی متوسط به اندازه، به ترتیب ۱۱ و ۳۰ ثانیه دارند. داده‌های آزمایشگاهی با به‌کارگیری پارامتر غیرماندگاری جریان و شاخص کل کار جریان، به‌طور کیفی بررسی شدند. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که بار کل، به‌صورت نمایی با کل کار جریان افزایش می‌یابد.

مائو (۲۰۱۲) اثر هیدروگراف جریان را در انتقال رسوب بستر بررسی کرد و به این نتیجه رسید که میزان انتقال رسوبات در شاخه صعودی هیدروگراف بیشتر از میزان انتقال رسوبات در شاخه نزولی آن می‌باشد. وانگ و همکاران (۲۰۱۳) بررسی آزمایشگاهی روی انتقال رسوبات دانه‌بندی شده در اثر جریان غیرماندگار انجام دادند. ایشان مشاهده کردند که رسوبات ریزدانه بعد از اوج جریان به میزان حداکثر انتقال و رسوبات متوسط و درشت‌دانه قبل از اوج جریان به میزان حداکثر انتقال می‌رسند و نتیجه گرفتند که تاخیر زمانی بین میزان حداکثر انتقال رسوب و میزان حداکثر جریان وجود دارد.

وانگ و همکاران (۲۰۱۴) آزمایش‌هایی را بر روی واکنش انتقال رسوبات بستر و تغییر شکل بستر تحت شرایط هیدروگراف جریان غیرماندگار که به‌وسیله سه متغیر بدون بعد: پارامتر غیرماندگاری، پارامتر عدم تقارن (نسبت شاخه صعودی به شاخه نزولی هیدروگراف) و کل کار انجام شده تعریف شده است انجام دادند. این آزمایش‌ها روی دو نوع رسوب انجام شد، رسوبات شبه‌یکنواخت و ماسه دانه‌بندی شده. مطالعات آزمایشگاهی روی فلومی با طول ۲۲ متر و عرض ۰/۷۵ متر و عمق ۰/۵ متر انجام شد. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که تاخیر زمانی (مثبت یا منفی) بین حداکثر جریان و حداکثر میزان انتقال رسوب برای شرایط متفاوت هیدروگراف وجود دارد. کریمایی طبرستانی و زراتی (۲۰۱۵) آزمایش‌هایی را

بروی انتقال رسوبات بار کف و معلق در اثر هیدروگراف سیلابی انجام دادند نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که شدت تلاطم در شاخه صعودی هیدروگراف بزرگ‌تر از شاخه نزولی آن است که این امر باعث می‌شود که میزان رسوباتی که توسط هیدروگراف جریان منتقل می‌شوند در شاخه صعودی هیدروگراف بزرگ‌تر از شاخه نزولی آن باشد.

وانگ و همکاران (۲۰۱۵) آزمایش‌هایی را بر روی میزان انتقال رسوبات کف در اثر هیدروگراف جریان سیلابی انجام دادند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که بین میزان اوج هیدروگراف جریان و میزان اوج هیدروگراف رسوب اختلاف زمانی وجود دارد که ناشی از اندازه ذرات رسوبی می‌باشد، همچنین آن‌ها مشاهده کردند که رسوبات درشت‌دانه در طول شاخه صعودی و رسوبات ریزدانه در طول شاخه نزولی تمایل به حرکت بیشتری دارند.

اسماعیلی (۱۳۹۲) تاثیر جریان سیلابی بر میزان انتقال رسوبات کف را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که پارامتر غیرماندگاری به‌عنوان شاخصی برای قابلیت انتقال رسوب توسط جریان قابل توجه است و همواره با افزایش آن میزان رسوبات بیشتری انتقال می‌یابد.

آلبویه و همکاران (۱۳۹۲) تحقیقی را در مورد جریان غیرمانگار و تاثیر آن بر روی انتقال رسوب به پایین‌دست انجام دادند. در این تحقیق مجموعه‌ای از هیدروگراف‌های مثلثی و دوزنقه‌ای بر روی بستر رسوبی جریان یافت و انتقال رسوب تحت تاثیر این نوع جریان‌ها مورد بررسی قرار گرفت. هیدروگراف‌های مورد آزمایش دارای زمان پایه ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه و دبی اوج ۲۲ و ۳۴ لیتر بر ثانیه بر متر بود. همچنین دو دانه‌بندی رسوب با قطر ۱/۴ و ۲/۵ میلی‌متر برای به‌عنوان مواد بستر مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که با کاهش اندازه دانه‌بندی بستر رسوبی، دبی رسوب منتقل شده به پایین‌دست

حدود ۵۰ درصد افزایش می‌یابد و همچنین تاثیر هیدروگراف‌های ذوزنقه‌ای در انتقال باربستر، نسبت به هیدروگراف‌های مثلثی که دارای دبی اوج و زمان پایه یکسان‌اند، بیشتر می‌باشد.

آل‌بویه و همکاران (۱۳۹۲) تحقیقی در مورد انتقال رسوبات بار کف در اثر هیدروگراف جریان سیلابی انجام دادند. در این تحقیق مجموعه‌ای از هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و نامتقارن بر روی بستر رسوبی جریان یافتند و انتقال رسوبات تحت تاثیر این نوع جریان‌ها مورد بررسی قرار گرفته شد. هیدروگراف‌های مورد آزمایش شامل هیدروگراف‌های دارای زمان پایه ثابت ۹۰ ثانیه و دبی اوج از ۶/۵۸ تا ۱۶/۱۸ لیتر در ثانیه در نظر گرفته شد. ذرات رسوبی مورد استفاده به عنوان بار بستر، رسوبات یکنواخت با قطر متوسط ۲/۵ میلی‌متر بود که در سه شیب کانال ۰/۰۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۲ مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین مقدار دبی اوج هیدروگراف جریان و مقدار حداکثر هیدروگراف رسوب تاخیر زمانی مغادل با ۵ تا ۱۱ درصد زمان پایه هیدروگراف وجود دارد. همچنین شیب کانال و دبی اوج هیدروگراف ورودی، تاثیر قابل توجه‌ای در میزان انتقال رسوب به پایین‌دست و فرسایش بالادست داشته چنانکه با دو برابر شدن شیب کف (از ۰/۰۰۵ به ۰/۰۱)، میزان بار رسوبی ۱/۵ برابر و با چهار برابر شدن شیب کف کانال (از ۰/۰۰۵ به ۰/۰۲)، حدوداً چهار برابر گردید. همچنین بار رسوبی انتقال یافته توسط هیدروگراف‌های مثلثی متقارن بیشتر از هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن بود.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

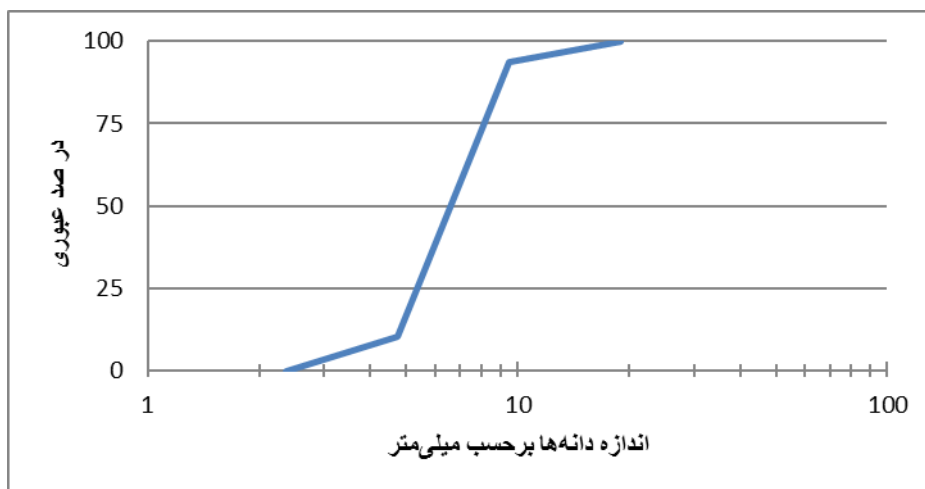
۳-۱- مقدمه

بررسی رفتار رسوبات تحت تاثیر حالت‌های مختلف جریان اعم از ماندگار و غیرماندگار و برآورد مقدار رسوبات منتقل شده به پایین‌دست از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد. اندازه‌گیری و نمونه‌برداری رسوبات از رودخانه‌های طبیعی به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که هر کدام وسیله و ابزار مخصوص به خود را دارند ولی این شرایط در آزمایشگاه بسیار متفاوت می‌باشد. چرا که بدلیل محدود بودن ابعاد کانال آزمایشگاهی و شرایط موجود در آزمایشگاه، نمی‌توان از ادواتی که در رودخانه‌های طبیعی استفاده می‌شود، برای اندازه‌گیری و نمونه‌برداری از رسوبات استفاده کرد. لذا این شرایط، ایجاد راه‌کاری به منظور اندازه‌گیری و نمونه‌برداری از رسوبات در کانال آزمایشگاهی را می‌طلبد. در این تحقیق، با استفاده از وسایلی ساده و ایجاد تغییراتی در شکل کانال آزمایشگاهی از روش آل‌بویه و همکاران، ۱۳۹۲ برای نمونه- برداری و اندازه‌گیری رسوبات منتقل شده تحت تاثیر جریان عبوری استفاده شد که در ادامه به شرح آن پرداخته می‌شود.

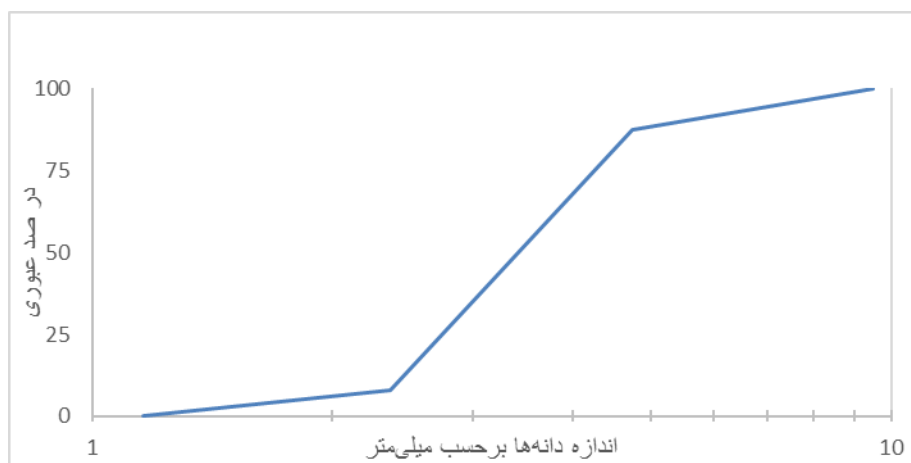
۳-۲- تهیه رسوب

از آنجا که هدف از این تحقیق، بررسی میزان رسوبات بار کف منتقل شده تحت تاثیر هیدروگراف جریان سیلابی بود بنابراین رسوبات مورد نظر تهیه شد و برای انجام آزمایش آماده گردید. ذرات رسوبی استفاده شده در این آزمایش از جنس ماسه رودخانه‌ای انتخاب شدند. در ابتدا ذرات درشت‌دانه با استفاده از سرنده جدا و سپس با الک‌های با اندازه مناسب الک شدند و رسوبات با دانه‌بندی یکنواخت به دست آمدند. سپس رسوبات شسته شدند تا ذرات گرد و غبار آن‌ها شسته شود. شستشوی ماسه‌های الک شده به یکنواختی رسوبات کمک می‌کند و دقت آزمایش را بالا می‌برد.

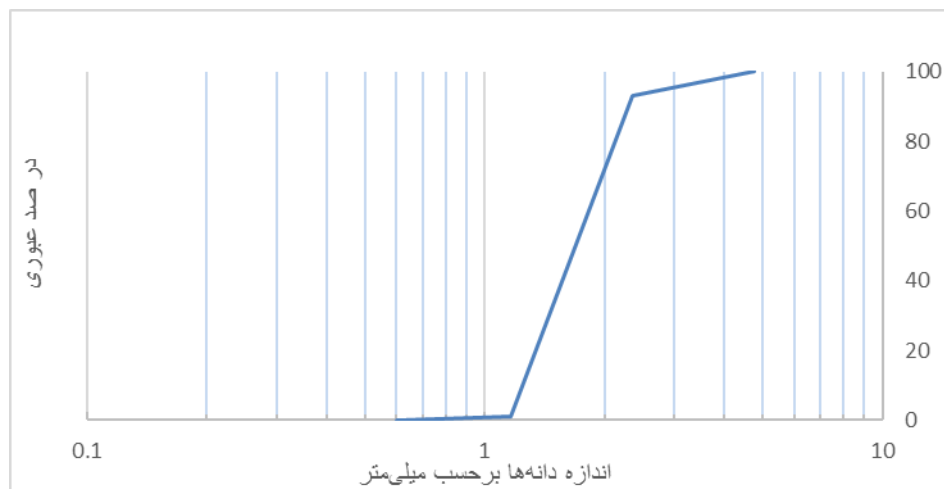
در این تحقیق چهار دانه‌بندی برای رسوبات بستر استفاده شد. اندازه رسوبات به ترتیب $0/8$ ، $1/85$ ، $3/5$ و 7 میلی‌متر انتخاب شدند که منحنی دانه‌بندی آن‌ها در اشکال ۳-۱ تا ۳-۴ نشان داده شده است.



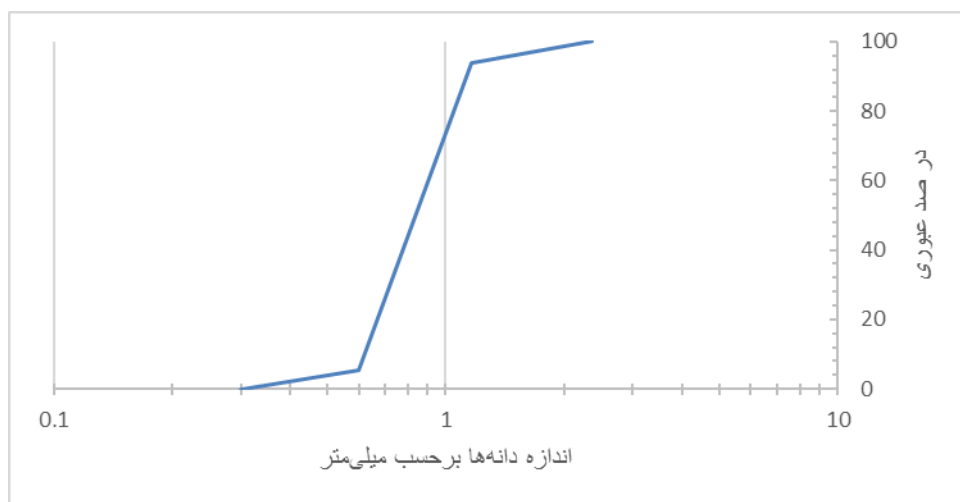
شکل ۳-۱- منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی استفاده شده در این تحقیق برای رسوبات با $d_{50} = 7mm$



شکل ۳-۲- منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی استفاده شده در این تحقیق برای رسوبات با $d_{50} = 3.5mm$



شکل ۳-۳- منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی استفاده شده در این تحقیق برای ذرات رسوبی با $d_{50} = 1.85mm$



شکل ۳-۴- منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی استفاده شده در این تحقیق برای ذرات رسوبی با $d_{50} = 0.8mm$

همچنین مشخصات فیزیکی ذرات رسوبی استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱-۳- مشخصات فیزیکی ذرات رسوبی استفاده شده در تحقیق

رسوب	D_{16}	D_{50}	D_{84}	σ
رسوب اول	۵/۲	۷	۸/۹	۱/۳
رسوب دوم	۲/۳	۳/۵	۴/۷	۱/۳
رسوب سوم	۱/۴	۱/۸۵	۲/۲	۱/۲۵
رسوب چهارم	۰/۷۸	۰/۸	۱/۲	۱/۲۴

در جدول فوق D_{16} ، D_{50} و D_{84} به ترتیب قطری از ذرات است که ۱۶ درصد، ۵۰ درصد و ۸۴ درصد ذرات از آن کوچکتر هستند. پارامتر σ ضریب انحراف معیار هندسی ذرات می‌باشد که از رابطه شماره ۱-۳ به دست می‌آید (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷).

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} \quad (1-3)$$

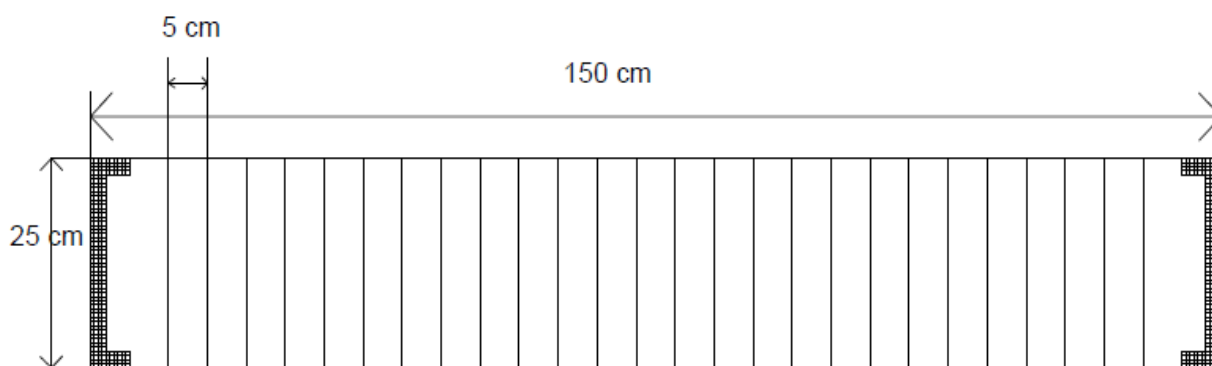
که اگر $\sigma < 1.3$ باشد رسوبات یکنواخت و $\sigma > 1.5$ باشد رسوبات غیریکنواخت می‌باشند.

۳-۳- اندازه‌گیری بار کف

برای نمونه‌برداری از رسوبات بار کف که بوسیله جریان آب به پایین دست منتقل می‌شوند از سیستم طراحی شده توسط آل‌بویه و همکاران، ۱۳۹۲ استفاده شد. از آنجا که هدف از این تحقیق بررسی میزان رسوبات کف منتقل شده تحت تاثیر جریان متغیر عبوری نسبت به زمان و در بازه‌های زمانی کوتاه مدت

می‌باشد، لذا نمونه‌بردار رسوب می‌بایست متناسب با شرایط مذکور طراحی و ساخته می‌شد. سیستم ساخته شده برای نمونه‌برداری رسوبات در این تحقیق شامل یک قاب فلزی مستطیلی شکل به طول ۱/۵ متر و عرض ۲۵ سانتی‌متر (کمتر از عرض کانال) می‌باشد. در قسمت زیرین این قاب، پایه و چرخ‌های کوچکی به منظور حرکت روان‌تر نمونه‌بردار رسوب بر روی کف کانال نصب گردید.

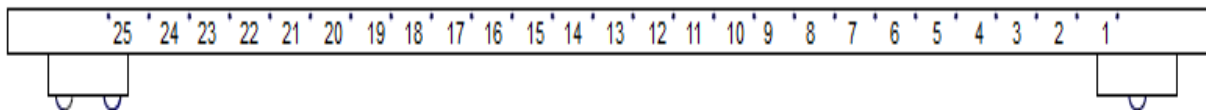
به منظور جمع‌آوری رسوبات، تعداد ۲۵ شبکه به شکل مکعب مستطیل و دارای طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۲۵، ۵ و ۳ سانتی‌متر از جنس توری بسیار مقاوم در برابر کشیدگی و فشار و دارای روزنه‌های بسیار ریز، مورد استفاده قرار گرفت. شبکه‌های توری تهیه شده، دارای روزنه‌های بسیار ریزی بوده که با توجه به کوچک‌ترین اندازه ذرات رسوب مورد استفاده در آزمایش انتخاب شد. اندازه روزنه‌های این توری بنحوی است که فقط جریان آب از آن عبور کرده و ذرات رسوب را داخل خود نگه می‌دارند.



شکل ۳-۵- نمای بالای قاب فلزی نمونه‌بردار

نحوه اتصال شبکه‌های توری و قاب فلزی نمونه‌بردار رسوب به یکدیگر، به اینصورت است که ابتدا با استفاده از مته‌ای باریک، ضلع بزرگ‌تر قاب (طول قاب فلزی) در فواصل یکسان هر پنج سانتی‌متر که برابر

با عرض شبکه‌های توری می‌باشد، سوراخ گردید. بنابراین مقدار رسوبی که در هر قسمت جمع‌آوری می‌شود مربوط به عبور طولی برابر ۵ سانتی‌متر از زیر شکاف تخلیه رسوب خواهد بود.



شکل ۳-۶- نمای کنار قاب فلزی نمونه‌بردار

سپس شبکه‌های توری به صورت جداگانه و با استفاده از نخ مقاوم در محل سوراخ‌های ایجاد شده در قاب فلزی، به آن متصل شدند. به این ترتیب نمونه‌بردار رسوب شامل شبکه‌ای از کیسه‌های توری با ابعاد یکسان که به صورت منظم پشت سر یکدیگر قرار گرفته‌اند، ایجاد شد.

۳-۴- آماده‌سازی فلوم آزمایشگاهی

این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی واقع در بسطام و بر روی یک کانال آزمایشگاهی به طول ۱۲ متر و عرض ۱ متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر انجام شد. کف کانال از جنس فلز صیقل داده شده و به منظور حرکت روان‌تر نمونه‌بردار رسوب در کف محدوده مورد آزمایش، شیشه از جنس سکوریت قرار داده شد و در جداره‌های آن به منظور مشاهده جریان از جنس شیشه شفاف استفاده گردید.

۳-۴-۱- تغییرات به منظور انجام آزمایش‌ها

از آنجا که در این تحقیق بررسی تاثیر جریان‌های غیرماندگار در انتقال بار کف مد نظر بوده است، لذا برای انجام هر یک از آزمایش‌ها لازم است تا کانال آزمایشگاهی شرایط فیزیکی خاص خود را داشته باشد.

۳-۴-۱-۱- تغییرات کانال آزمایشگاهی

از آنجا که نمونه‌برداری از رسوبات بار کف در بازه‌های زمانی کوتاه مدت مد نظر بود، لذا برای این منظور باید تغییراتی در کف کانال آزمایشگاهی ایجاد می‌شد تا شرایط نمونه‌برداری را فراهم آورد. این تغییر در شکل کف کانال به منظور قرار دادن نمونه‌بردار رسوب و ایجاد شرایطی است که این وسیله بتواند به راحتی در زیر بستر متحرک به حرکت درآید و عمل نمونه‌برداری از بار کف منتقل شده توسط جریان را انجام دهد. کف کانال با استفاده از پایه‌هایی از جنس قوطی (با ضخامت ۲ سانتی‌متر) بالا آورده شد. قسمت‌های مختلف کانال در این حالت به شرح زیر می‌باشد:

-بخش اول شامل سطحی است که توسط پایه‌هایی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر نسبت به کف اصلی کانال و به طول ۳۰ سانتی‌متر بالا آورده شده است. سطح بالا آورده شده در این حالت، کف کانال را در آزمایش‌های این تحقیق تشکیل می‌دهد. سطح این قسمت، توسط شیشه‌ای به ضخامت ۶ میلی‌متر که بر روی آن زبری ثابت و دارای دانه‌بندی یکنواخت و مشابه با دانه‌بندی رسوبات مورد استفاده در آزمایش است، پوشانده شده است (رسوبات بوسیله چسب به شیشه چسبانده شدند).

-قسمت دوم، قسمتی است که بستر رسوبی مورد آزمایش و محل قرار دادن رسوبات متحرک را تشکیل می‌دهد. این ناحیه به طول ۲ متر و ارتفاع ۶ سانتی‌متر به منظور ایجاد فضایی برای بستر رسوبی در نظر

گرفته شده است بطوریکه پس از قرار دادن رسوبات در این قسمت و تسطیح سطح آن، ارتفاع این قسمت برابر با ارتفاع قسمت مجاور و برابر با ۱۵ سانتی متر خواهد شد.

-قسمت سوم شیاری است که رسوبات به حرکت درآمده توسط جریان آب، از طریق آن به پایین ریزش می کنند. با انجام چند آزمایش و با استفاده از ذرات رسوبی با دانه بندی کوچکتر، میزان بازشدگی شیار (محل نمونه برداری از رسوبات) برابر ۳ سانتی متر در نظر گرفته شد.

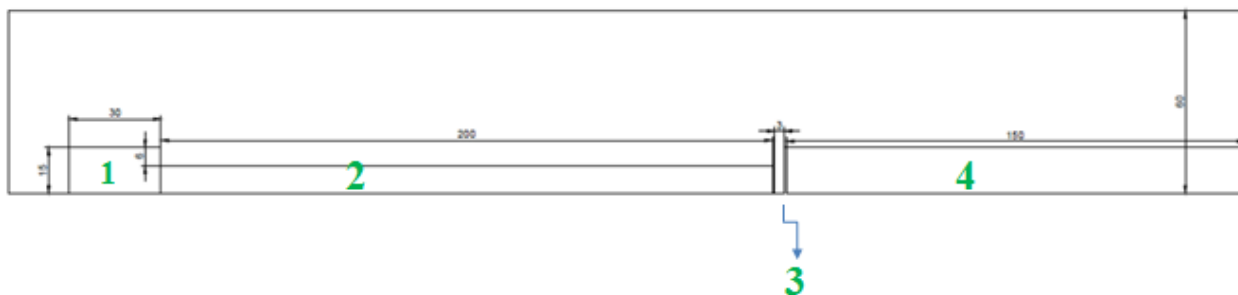
-قسمت چهارم، بخش انتهایی تغییر در کانال می باشد. این قسمت توسط پایه هایی به ارتفاع ۱۵ سانتی متر نسبت به کف کانال و به طول ۱/۵ متر بعد از شیار، ادامه پیدا کرده است. بر روی این قسمت نیز صفحه های شیشه ای به ضخامت ۶ میلی متر قرار داده شد که روی آن ها نیز زبری ثابت و دارای دانه بندی یکنواخت و مشابه با دانه بندی رسوبات مورد استفاده در آزمایش است، پوشانده شده است.



شکل ۳-۷- نمای از زبری ثابت

بعد از قرار دادن صفحه های شیشه ای در داخل کانال، درزهای بین صفحه ها کاملاً آب بندی شد تا تمامی جریان آب از روی بستر ایجاد شده در کانال عبور نماید. اگر قبل و بعد از بستر متحرک در کانال به جای شیشه با رسوب ثابت، کف کانال را فقط با صفحه های شیشه ای بپوشانیم، با عبور جریان فرسایش زیادی به دلیل تغییر ناگهانی زبری بستر در مقطعی در حد فاصل کف ثابت (شیشه) و بستر متحرک ایجاد

می‌شود. بنابراین قرار دادن شیشه با زبری ثابت و دانه‌بندی مشابه با دانه‌بندی رسوبات مورد آزمایش، از ایجاد فرسایش جلوگیری کرده و به دقت آزمایش اضافه می‌کند.



شکل ۳-۸- تغییرت کانال آزمایشگاهی

۳-۵- جریان غیرماندگار

هدف اصلی این تحقیق، بررسی انتقال رسوبات بار کف تحت تاثیر جریان غیر ماندگار می‌باشد. جریان غیر ماندگار، جریانی است که در آن دبی با افزایش زمان، افزایش یافته، به مقدار حداکثر خود رسیده و سپس کاهش می‌یابد تا به صفر برسد. برای ایجاد چنین جریانی از یک دستگاه الکتریکی به نام اینورتور هیوندای

مدل *N700E* استفاده شد.



شکل ۳-۹- دستگاه اینورتور استفاده شده در این تحقیق برای ایجاد جریان غیرماندگار

این وسیله که از طریق کابل فشار قوی، به پمپ کانال آزمایشگاهی متصل گردید، دارای ۱۷۱ برنامه مختلف می‌باشد که در این تحقیق تنها از چهار برنامه برای ایجاد هیدروگراف‌های جریان مختلف استفاده شد. برنامه‌های مورد استفاده از دستگاه اینورتور به شرح زیر می‌باشند:

برنامه شماره ۱۳: در این برنامه حداکثر فرکانس برای اینورتور تعیین گردید که برابر با ۶۰ هرتز می‌باشد.

برنامه شماره ۱۸: در این برنامه حداقل فرکانس خروجی تعیین گردید.

برنامه شماره ۱۹: این برنامه مدت زمان افزایش شتاب دستگاه را تنظیم می‌کند. مدت زمانی که در این برنامه به اینورتور داده می‌شود، زمانی است که طول می‌کشد تا فرکانس اینورتور پس از روشن شدن آن،

از صفر تا مقدار حداکثر خود یعنی ۶۰ هرتز برسد. مدت زمان تعیین شده در این برنامه، مدت زمان شاخه صعودی هیدروگراف را ایجاد می‌کند.

برنامه شماره ۲۰: این برنامه مدت زمان کاهش شتاب دستگاه را تنظیم می‌نماید. مدت زمانی که در این برنامه به دستگاه اینورتور داده می‌شود، زمانی است که طول می‌کشد تا فرکانس اینورتور پس از خاموش شدن آن، از مقدار حداکثر خود یعنی ۶۰ هرتز به مقدار صفر برسد. مدت زمان تعیین شده در این برنامه، مدت زمان شاخه نزولی هیدروگراف را ایجاد می‌کند.

۳-۶- موتور الکتریکی

به منظور انجام نمونه‌برداری از رسوبات بار کف، لازم است تا نمونه‌بردار رسوب از زیر شیار تعبیه شده در کف کانال، با سرعتی یکنواخت و متناسب با زمان پایه هیدروگراف ورودی، به سمت انتهای کانال حرکت کند. به این ترتیب رسوبات منتقل شده توسط جریان وارد کیسه‌های توری می‌شوند. برای به حرکت درآوردن نمونه‌بردار رسوب از یک موتور الکتریکی که در انتهای کانال نصب گردید استفاده شد.



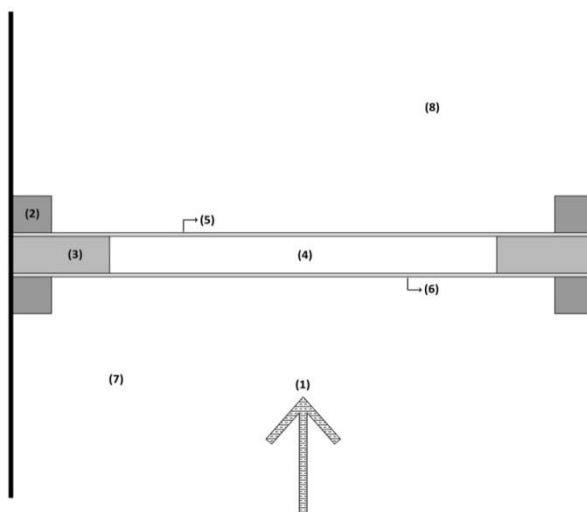
شکل ۳-۱۰- موتور الکتریکی انتهای کانال

این وسیله شامل یک موتور، قرقره و کلیدی برای تنظیم سرعت چرخش قرقره می‌باشد. نمونه‌بردار رسوب از طریق سیم فلزی به موتور الکتریکی متصل گردید. با روشن شدن موتور قرقره شروع به چرخش کرده و باعث جمع شدن سیم ارتباطی به حول خود می‌شود و در نتیجه نمونه‌بردار رسوب را به سمت انتهای کانال حرکت می‌دهد. سرعت کشیده شدن نمونه‌بردار توسط موتور الکتریکی از طریق کلید نصب شده بر روی آن و با توجه به زمان پایه هیدروگراف مورد آزمایش، قابل تنظیم می‌باشد. برای این منظور با توجه به زمان پایه‌های مختلف هیدروگراف‌های ورودی، سرعت چرخش و سرعت کشش موتور الکتریکی تنظیم گردید. به این ترتیب برای هر هیدروگراف ورودی مشخص، سرعت کشیده شدن نمونه‌بردار رسوب توسط موتور الکتریکی تعیین گردید بطوریکه با وارد شدن هیدروگراف، نمونه‌بردار رسوب شروع به حرکت کرده و با پایان آن آخرین شبکه از نمونه‌بردار رسوب از زیر شیار عبور می‌کند.

۳-۷- ویژگی‌های ریزش رسوبات (شیار)

زمانیکه نمونه‌بردار رسوب در محل خود در زیر شیار قرار می‌گیرد تا عمل نمونه‌برداری و جمع‌آوری از رسوبات منتقل شده به پایین‌دست را انجام دهد، به دلیل وجود پایه‌های چهارچوب قرار داده شده در کانال و همچنین به علت کمتر بودن عرض نمونه‌بردار نسبت به عرض کانال، فضای خالی بین نمونه‌بردار رسوب و جداره کانال ایجاد می‌شود. فضای خالی ایجاد شده باعث عدم نمونه‌برداری کامل رسوبات توسط نمونه‌بردار رسوب و از دست رفتن قسمتی از رسوبات انتقالی می‌شود. برای رفع این مشکل دو منشور از جنس پلکسی‌گلاس ساخته شد. دو طرف منشور در دو طرف قسمت شیار و کمی پایین‌تر از سطح ایجاد شده برای آزمایش (۱سانتی‌متر)، به منظور انتقال تمامی رسوبات عبور یافته از روی این سطح ساخته و نصب گردید. رسوبات منتقل شده پس از افتادن بر روی منشورها به علت شیب‌دار بودن آن‌ها، به سمت

مرکز مقطع کانال هدایت شده و به این ترتیب وارد کیسه‌های نمونه‌بردار می‌شوند. همچنین به منظور جلوگیری از ایجاد جریان گردابی در زیر منشورها و در فضای خالی بین نمونه‌بردار رسوب و پایه‌های چهارچوب، از دو صفحه قائم از جنس پلکسی‌گلاس شفاف با ضخامت دو میلی‌متر استفاده گردید. همچنین دو صفحه از جنس پلکسی‌گلاس به صورت قائم و بطوریکه تمامی عرض کانال را پوشش دهد، در دو سمت محل شیار نصب گردید. پلان قسمت شیار در شکل ۳-۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۱- پلان قسمت شیار و مشخصه‌های آن

در شکل بالا:

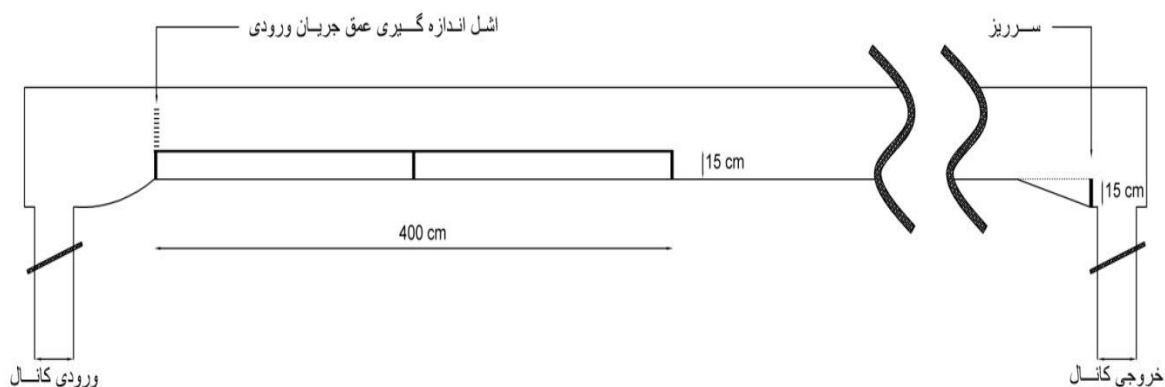
(۱): مسیر حرکت جریان آب، (۲): پایه‌های چهارچوب قرار داده شده در کانال، (۳): منشورهای هدایت کننده رسوبات به قسمت مرکز مقطع کانال، (۴): محل انتقال رسوبات منتقل شده به نمونه‌بردار رسوب،

(۵) و (۶): صفحاتی که باعث حرکت قائم ذرات رسوبی و انتقال آن‌ها به نمونه‌بردار می‌شوند، (۷): محل قرارگیری رسوبات متحرک (بستر رسوبی) و (۸): محل قرارگیری صفحات شیشه‌ای را نشان می‌دهند.

۳-۸- روش انجام آزمایش

۳-۸-۱- بدست آوردن هیدروگراف‌های ورودی جریان (جریان غیرماندگار)

برای انجام این آزمایش، نیاز به رابطه‌ای بین عمق جریان عبوری، دبی جریان در آن عمق و همچنین فرکانسی که این عمق را ایجاد می‌کند، بود. برای این منظور، ابتدا کف کانال با استفاده از پایه‌های ساخته شده به اندازه ۱۵ سانتی‌متر بالا آورده شد تا شرایط تعیین هیدروگراف‌های جریان، مشابه با شرایط انجام آزمایش‌های مختلف در این تحقیق باشد. سپس صفحه‌های شیشه‌ای که دارای طول و عرض به ترتیب ۱۰۰ و ۳۰ سانتی‌متر می‌باشند به طول ۴ متر و بر روی پایه تعبیه شده در کانال قرار داده شدند. تمامی درزهای بین صفحه‌های شیشه‌ای آب‌بندی شد. یک سرریز مستطیلی لبه تیز و بدون فشردگی جانبی در قسمت انتهایی کانال نصب گردید. تا رابطه بین عمق جریان در قسمت ورودی کانال و دبی متناظر با آن عمق بدست آید. سپس اینورتور در فرکانس‌های مختلف بین ۲۵ تا ۶۰ هرتز قرار داده شد. فرکانس‌های تنظیم شده برای اینورتور عبارت است از ۲۵، ۲۷، ۲۹... و ۶۰ هرتز می‌باشد. در هر فرکانس مشخص از اینورتور، پمپ کانال یک دبی مشخص را وارد کانال کرده و جریان یکنواخت در کانال برقرار گردید. سپس برای هر فرکانس، دو عمق قرائت شد. یکی عمق آب در قسمت ورودی کانال و دیگری عمق آب روی سرریز نصب شده در انتهای کانال آزمایشگاهی.



شکل ۳-۱۲- تغییرات کانال آزمایشگاهی به منظور به دست آوردن رابطه دبی-اثر

سپس با استفاده از رابطه (۲-۳)، C_d که بعنوان ضریب شدت جریان در سرریز مستطیلی لبه تیز می باشد، محاسبه گردید (حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۷).

$$C_d = 0.611 + 0.08 \frac{H_d}{w} \quad (۲-۳)$$

که در رابطه فوق H_d : ارتفاع آب روی تاج سرریز و w : ارتفاع سرریز که برابر با ۱۵ سانتی متر می باشد.

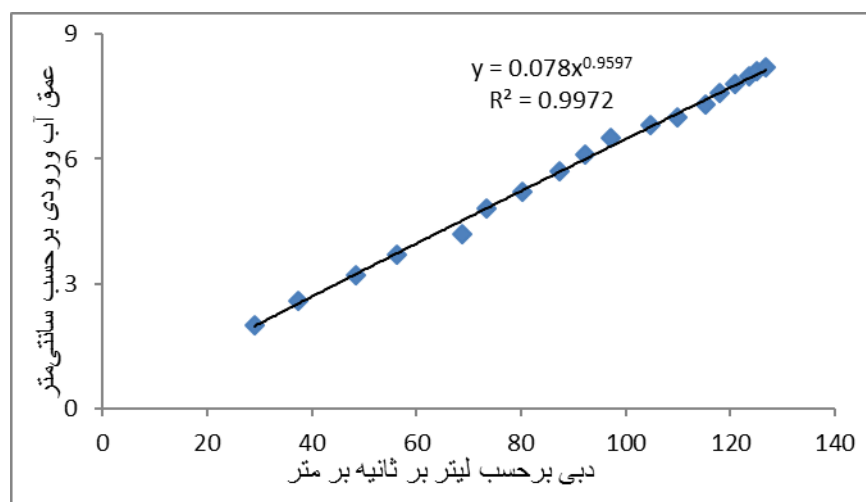
رابطه فوق برای مقادیر $\frac{H_d}{w} \leq 5$ قابل استفاده می باشد. پس از محاسبه ضریب شدت جریان C_d ، با

استفاده از رابطه مربوط به سرریز مستطیلی لبه تیز، دبی جریان محاسبه گردید (رابطه (۳-۳)).

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot C_d \cdot L \cdot H_d^{\frac{3}{2}} = C \cdot L \cdot H_d^{\frac{3}{2}} \quad (۳-۳)$$

$$C = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot C_d \quad (۴-۳)$$

این کار برای تمامی فرکانس‌های ذکر شده از اینورتور انجام گرفت. به این ترتیب برای هر فرکانس از کنترل دور، عمق ورودی در ابتدای کانال و دبی متناظر آن عمق به دست آمد.



شکل ۳-۱۳- منحنی دبی- اشل در کانال آزمایشگاهی

جدول (۲-۳)، مقادیر مربوط به فرکانس کنترل دور، عمق جریان ورودی و دبی متناظر با آن عمق را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۲- محدوده تغییرات فرکانس، عمق ورودی جریان و دبی جریان ورودی

محدوده تغییرات فرکانس اینورتور (هرتز)	عمق جریان ورودی (cm)	ارتفاع آب روی سرریز (cm)	ضریب C_d	دبی جریان $\left(\frac{lit}{s.m}\right)$
۲۵	۲	۲/۸	۰/۶۲۲	۲۹/۱۳
۲۷	۲/۶	۳/۳	۰/۶۲۵	۳۷/۴۶
۲۹	۳/۲	۳/۹	۰/۶۲۸	۴۸/۳۶
۳۱	۳/۷	۴/۳	۰/۶۳۱	۵۶/۲۶
۳۳	۴/۲	۴/۹	۰/۶۳۳	۶۸/۶۶
۳۵	۴/۸	۵/۱	۰/۶۳۷	۷۳/۳۳
۳۷	۵/۲	۵/۴	۰/۶۳۹	۸۰/۱۶
۳۹	۵/۷	۵/۷	۰/۶۴۱	۸۷/۲۳
۴۱	۶/۱	۵/۹	۰/۶۴۳	۹۲/۱۳
۴۳	۶/۵	۶/۲	۰/۶۴۶	۹۷/۰۶
۴۵	۶/۸	۶/۴	۰/۶۴۷	۱۰۴/۷۶
۴۷	۷	۶/۶	۰/۶۴۸	۱۰۹/۸۶
۴۹	۷/۳	۶/۸	۰/۶۵۰	۱۱۵/۲۶
۵۱	۷/۶	۶/۹	۰/۶۵۱	۱۱۸
۵۳	۷/۸	۷	۰/۶۵۳	۱۲۱
۵۵	۸	۷/۱	۰/۶۵۳۷	۱۲۳/۶۶
۵۷	۸/۱	۷/۱۵	۰/۶۵۴۲	۱۲۵/۰۶
۶۰	۸/۲	۷/۲	۰/۶۵۴۷	۱۲۶/۶۶

جریان غیرماندگار جریانی است که در آن مشخصه‌های هیدرولیکی جریان شامل عمق، سرعت و دبی با گذشت زمان تغییر می‌کند. از آنجا که نوع جریان مورد آزمایش در این تحقیق غیرماندگار است، بنابراین لازم است که تغییرات دبی در مقابل زمان محاسبه شود لذا با مشخص بودن رابطه بین عمق آب ورودی و

دبی جریان ناشی از آن عمق، می‌توان با اندازه‌گیری لحظه‌ای عمق آب ورودی، هیدروگراف ورودی را بدست آورد.

۳-۸-۲- تعیین زمان شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف

هیدروگراف‌های جریان ورودی در این تحقیق شامل هیدروگراف‌های مثلثی می‌باشد. زمان پایه در نظر گرفته شده برای هیدروگراف‌های مورد نظر، سه زمان پایه ۹۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ ثانیه بوده که زمان شاخه صعودی و نزولی آن‌ها، یا متقارن و برابر یکدیگر و یا به صورت هیدروگراف‌های نامتقارن در نظر گرفته شد. برای به دست آوردن زمان مربوط به شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف‌های متقارن و نامتقارن مورد نظر، مدت زمان مربوط به آن‌ها را وارد دستگاه اینورتور کرده (برنامه های شماره ۱۹ و ۲۰)، سپس با استفاده از یک کورنومتر و یک دوربین دیجیتال، هیدروگراف ورودی را برداشت کردیم. نحوه بدست آوردن هیدروگراف ورودی به شرح زیر می‌باشد:

پس از مشخص نمودن مدت زمان شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف و وارد کردن آن‌ها به دستگاه اینورتور، کورنومتر و اشل اندازه‌گیری عمق جریان بر روی جداره کانال و در قسمت ورودی نصب گردید. سپس دوربین دیجیتال در فاصله‌ای مناسب از کانال و در مقابل قسمت ورودی کانال قرار داده و تراز شد. کورنومتر و اینورتور همزمان با هم روشن شده و به این ترتیب جریان آب شروع به وارد شدن به کانال می‌کند. این جریان، جریان در شاخه صعودی هیدروگراف می‌باشد. زمانیکه هیدروگراف به نقطه اوج خود رسید، اینورتور را خاموش کرده و شاخه نزولی هیدروگراف نیز ایجاد می‌شود. تغییرات زمانی عمق جریان در قسمت ورودی کانال توسط اشل نصب شده بر روی جداره کانال و کورنومتر موجود، از طریق فیلم‌برداری برداشت گردید. سپس تغییرات عمق جریان در مقابل زمان برای هیدروگراف مورد آزمایش از

فیلم‌های موجود استخراج شدند. همچنین با مشخص بودن رابطه بین عمق ورودی جریان و دبی متناظر آن، تغییرات دبی جریان در مقابل زمان و یا به عبارت دیگر، هیدروگراف ورودی به دست آمد. هیدروگراف‌های به دست آمده نشان دادند که مدت زمان داده شده به اینورتور برای شاخه‌های صعودی و نزولی، با مدت زمان شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف‌های اندازه‌گیری شده متفاوت می‌باشد. لذا با انجام چند آزمایش، اعداد صحیحی که باید وارد دستگاه اینورتور شود تا زمان مورد نظر برای شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف مورد نظر را ایجاد نماید، به دست آمد. به عبارت دیگر، دستگاه اینورتور کالیبره گردید.

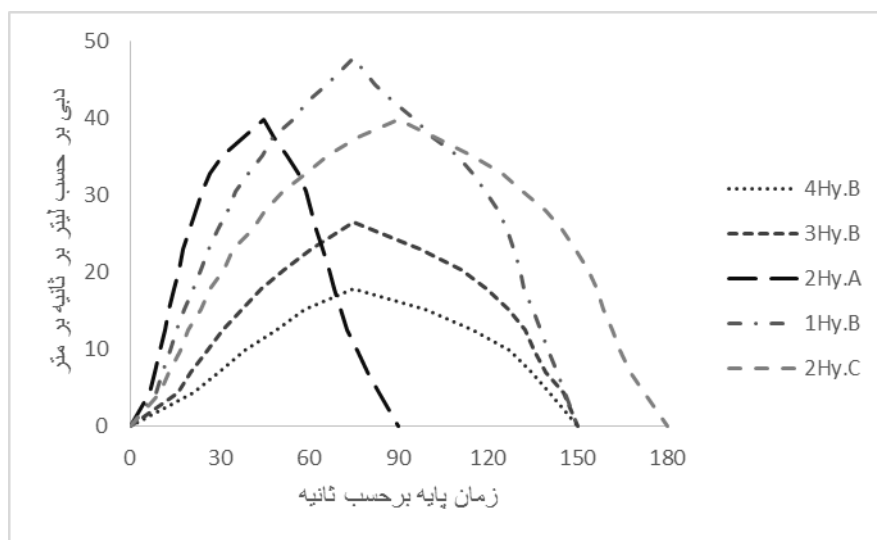
۳-۹- تعیین دبی اوج هیدروگراف

دبی اوج هیدروگراف با توجه به اندازه دانه‌بندی رسوبات مورد استفاده در آزمایش و تاثیر جریان بر روی آن‌ها و همچنین حجم شبکه نمونه‌بردار رسوب تعیین گردید. به عبارت دیگر، اگر دبی اوج هیدروگراف ورودی جریان را زیاد در نظر می‌گرفتیم، مقدار رسوبات منتقل شده توسط جریان از حجم شبکه نمونه‌بردار رسوب بیشتر، و به این ترتیب مقداری از رسوبات از نمونه‌بردار خارج می‌شد و این موضوع منجر به کاهش دقت آزمایشات می‌شد. برای تعیین دبی اوج هیدروگراف‌ها، اینورتور را در حداکثر فرکانس خود (۶۰ هرتز) قرار داده و سپس با استفاده از شیر فلکه‌ای که بر روی پمپ کانال نصب شده بود، دبی اوج تنظیم گردید. برای این منظور، چند آزمایش بر روی کوچک‌ترین دانه‌بندی رسوب انجام گرفت و دبی‌های مطلوب برای آزمایش به دست آمد که عبارتند از ۱۸، ۲۷، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر.

۳-۱۰- هیدروگراف‌های ورودی جریان

۳-۱۰-۱- هیدروگراف‌های مثلثی متقارن

هیدروگراف‌های مثلثی متقارن هیدروگراف‌هایی هستند که به شکل مثلث می‌باشند. به عبارت دیگر دارای شاخه صعودی و نزولی متقارن می‌باشند و مدت زمان شاخه صعودی و نزولی آن‌ها با یکدیگر برابر است. نمونه‌ای از هیدروگراف‌های مورد استفاده در این آزمایشات در شکل (۳-۹) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۴- هیدروگراف‌های مثلثی متقارن برداشت شده در آزمایشات

در جدول (۳-۳) خصوصیات هیدروگراف‌های مثلثی متقارن مورد آزمایش، شامل زمان پایه، دبی اوج و مدت زمان شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳-۳- خصوصیات هیدروگراف‌های مثلثی متقارن مورد آزمایش

هیدروگراف‌های جریان ورودی	دبی اوج $\left(\frac{lit}{s.m}\right)$	زمان پایه (s)	زمان شاخه صعودی (s)	زمان شاخه نزولی (s)
1Hy.A	۵۰	۹۰	۴۵	۴۵
2Hy.A	۴۰	۹۰	۴۵	۴۵
3Hy.A	۲۷	۹۰	۴۵	۴۵
4Hy.A	۱۸	۹۰	۴۵	۴۵
1Hy.B	۵۰	۱۵۰	۷۵	۷۵
2Hy.B	۴۰	۱۵۰	۷۵	۷۵
3Hy.B	۲۷	۱۵۰	۷۵	۷۵
4Hy.B	۱۸	۱۵۰	۷۵	۷۵
1Hy.C	۵۰	۱۸۰	۹۰	۹۰
2Hy.C	۴۰	۱۸۰	۹۰	۹۰
3Hy.C	۲۷	۱۸۰	۹۰	۹۰
4Hy.C	۱۸	۱۸۰	۹۰	۹۰

هیدروگراف‌های با نام $1Hy$ ، $2Hy$ ، $3Hy$ و $4Hy$ به ترتیب دارای دبی اوج ۵۰، ۴۰، ۲۷ و ۱۸ لیتر بر ثانیه بر متر و همچنین هیدروگراف‌های A ، B و C به ترتیب دارای زمان پایه ۹۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ ثانیه می‌باشند.

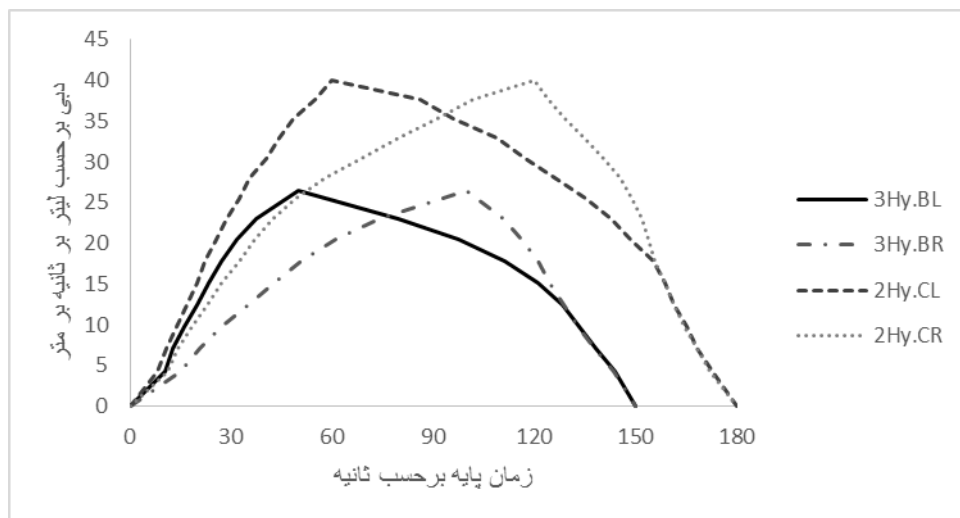
۳-۱۰-۲- هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن

هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن که در این تحقیق مورد آزمایش قرار گرفتند، شامل هیدروگراف‌های دارای زمان پایه ۱۵۰ و ۱۸۰ ثانیه و دبی اوج ۲۷ و ۴۰ لیتر بر ثانیه بر متر بودند. هیدروگراف‌های مورد آزمایش در این قسمت شامل هیدروگراف‌هایی هستند که زمان رسیدن به اوج آن‌ها (T_p) نسبت به زمان

پایه هیدروگراف آن (T_b) برابر با ۰/۳۳ و ۰/۶۷ می باشد. تاثیر این نوع هیدروگرافها در انتقال بار کف به پایین دست در مقایسه با هیدروگرافهای مثلثی متقارن که دارای زمان پایه و دبی اوج مشابه بودند، بررسی و مورد مقایسه قرار گرفت. هیدروگرافهای مثلثی نامتقارن به دو صورت هیدروگرافهای مثلثی نامتقارن با بازوی بالارونده سریع و بازوی بالارونده آرام مورد آزمایش قرار گرفته شدند. مشخصات هیدروگرافهای مذکور (شامل دبی اوج، مدت زمان شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف) در جدول (۳-۴) نشان داده شده است. همچنین نمونه‌ای از هیدروگرافهای مثلثی نامتقارن مورد آزمایش در شکل (۳-۹) نشان داده شده است.

جدول ۳-۴- مشخصات هیدروگرافهای مثلثی نامتقارن مورد آزمایش

هیدروگرافهای جریان ورودی	دبی اوج $\left(\frac{lit}{s.m}\right)$	زمان پایه (s)	زمان شاخه صعودی (s)	زمان شاخه نزولی (s)
2Hy.BL	۴۰	۱۵۰	۵۰	۱۰۰
3Hy.BL	۲۷	۱۵۰	۵۰	۱۰۰
2Hy.CL	۴۰	۱۸۰	۶۰	۱۲۰
3Hy.CL	۲۷	۱۸۰	۶۰	۱۲۰
2Hy.BR	۴۰	۱۵۰	۱۰۰	۵۰
3Hy.BR	۲۷	۱۵۰	۱۰۰	۵۰
2Hy.CR	۴۰	۱۸۰	۱۲۰	۶۰
3Hy.CR	۲۷	۱۸۰	۱۲۰	۶۰



شکل ۳-۱۵- نمونه‌ای از هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن

۳-۱۱- بررسی وضعیت معلق شدن ذرات رسوبی

از آنجا که هدف این پژوهش بررسی انتقال رسوبات بار کف می‌باشد، لازم است از نظر عدم معلق شدن ذرات در طول عبور هیدروگراف اطمینان حاصل گردد بطوریکه کلیه رسوبات به حرکت درآمده، از شکاف ایجاد شده به منظور نمونه‌برداری رسوبات، به داخل نمونه‌بردار ریزش کنند. معیارهای مختلفی برای کنترل شرایط معلق بودن ذرات رسوبی وجود دارد که از جمله می‌توان به معیار بگنولد (۱۹۶۶) اشاره

کرد. با توجه به این معیار چنانچه نسبت $\frac{U_*}{W_s}$ کمتر از ۰/۲۵ باشد ذرات به حالت معلق در نمی‌آیند. در

رابطه فوق U_* سرعت برشی و W_s سرعت سقوط ذرات در حالت مستغرق می‌باشد. همچنین رویی

(۱۹۳۳) برای ذرات کوچک، رابطه (۳-۶) را برای محاسبه سرعت سقوط ذره ارائه کرد که برای تمام

محدوده عدد رینولدز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷). لذا می‌توان نوشت:

$$U_* = \sqrt{gRS} \quad (۵-۳)$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{b \cdot y}{b + 2y} = \frac{0.0105}{0.37} = 0.028m$$

$$S = 0.0001$$

$$U_* = 0.00524 \frac{m}{s}$$

$$W_s = \frac{\sqrt{2.3g(G_s - 1)D_{50}^3 + 36\nu^2} - 6\nu}{D_{50}} \quad (6-3)$$

$$G_s = 2.64$$

$$D_{50} = 0.8mm$$

$$\nu = 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$W_s = 5.4408 \frac{m}{s}$$

$$\frac{U_*}{W_s} = 0.001 < 0.25$$

که در آن g شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)، R_h شعاع هیدرولیکی جریان (متر)، S شیب کف

کانال، G_s چگالی ذرات رسوب و U لزجت سینماتیک می باشد. با توجه به مقدار $\frac{U_*}{W_s}$ مشاهده می شود که

این مقدار از ۰/۲۵ کمتر شده است لذا بر اساس معیار بگنولد، ۱۹۹۶ می توان نتیجه گرفت که ذرات

رسوبی استفاده شده در آزمایشها به حالت معلق در نیامده، بنابراین حرکت ذرات فقط بصورت بار کف

خواهد بود.

۳-۱۲- آماده‌سازی شرایط کانال برای هر آزمایش

برای آماده‌سازی شرایط مطلوب انجام هر آزمایش، موارد زیر مد نظر قرار گرفت:

- قرار دادن رسوبات با دانه‌بندی یکنواخت در محل خود در داخل کانال و تسطیح سطح آن.

- برقراری جریان با شدت بسیار کم از روی بستر رسوبی به منظور اشباع کامل آن، به طوری که موجب شسته شدن رسوبات و انتقال آن‌ها به پایین دست نگردد. اگر رسوبات موجود در کانال اشباع نباشند، با وارد شدن هیدروگراف و عبور جریان از روی آن‌ها، قسمتی از جریان صرف اشباع کردن بستر رسوبی می‌شود و به این ترتیب علاوه بر اینکه شکل هیدروگراف ورودی تغییر می‌کند، مقداری از جریان آن نیز کم شده و باعث ایجاد خطا در آزمایش می‌شود. لذا لازم است تا بستر رسوبی قبل از هر آزمایش به صورت اشباع در آورده شود.

- قرار دادن نمونه‌بردار رسوب در زیر بستر متحرک و در فضای خالی بین کف اصلی کانال و کف ایجاد شده. نمونه‌بردار رسوب طوری در این قسمت قرار داده می‌شود که اولین شبکه از آن دقیقاً در زیر شیار قرار بگیرد.

- متصل کردن نمونه‌بردار رسوب به موتور الکتریکی در انتهای کانال، با استفاده از سیم فلزی. پس از اتصال، سیم باید کاملاً کشیده باشد تا با راه‌اندازی موتور الکتریکی، بلافاصله نمونه‌بردار شروع به حرکت کند.

- تنظیم سرعت حرکت دورانی موتور الکتریکی متناسب با زمان پایه هیدروگراف مورد آزمایش. در این قسمت، با استفاده از کلیدی که بر روی دستگاه موتور الکتریکی نصب شده، سرعت چرخش موتور طوری

تنظیم شد که با شروع هیدروگراف، نمونه‌بردار نیز به حرکت درآید و با پایان هیدروگراف، آخرین شبکه از نمونه‌بردار از زیر شیار عبور کرده باشد. بنابراین زمان عبور پنل جمع‌آوری از زیر شکاف برابر زمان پایه هیدروگراف گردید.

- دبی اوج هیدروگراف، با توجه به هیدروگراف مورد آزمایش از طریق شیر فلکه کانال آزمایشگاهی تنظیم شد.

- مشخص نمودن مدت زمان شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف در دستگاه اینورتور با استفاده از برنامه‌های شماره ۱۹ و ۲۰، با توجه به هیدروگراف ورودی مورد آزمایش.

۳-۱۳- آزمایش‌های انجام شده

در این آزمایش‌ها بررسی و اندازه‌گیری بار کف منتقل شده به پایین‌دست تحت تاثیر هیدروگراف‌های مختلف جریان ورودی حائز اهمیت بوده است. برای انجام آزمایش‌های مربوطه، از یک دوربین فیلم‌برداری استفاده شد. این دوربین درست در جلوی شیار نصب گردید تا بتوان از طریق آن، مدت زمانی که هر شبکه از نمونه‌بردار رسوب از زیر شیار می‌گذرد را تعیین نمود.

۳-۱۴- نحوه انجام آزمایش‌ها

پس از آماده‌سازی شرایط آزمایش و قرار دادن دوربین در محل تعیین شده، آزمایش‌ها به شرح زیر انجام گردید:

- روشن کردن دوربین و آغاز فیلم برداری

- روشن کردن اینورتور و ورود هیدروگراف به داخل کانال (آغاز شاخه صعودی هیدروگراف)

- روشن کردن موتور الکتریکی در زمان رسیدن پیشانی موج به نزدیکی شیار (با روشن کردن موتور الکتریکی، نمونه بردار رسوب شروع به حرکت از زیر شیار کرده و به سمت پایین دست منتقل می شود).

- خاموش کردن اینورتور در زمان مشخص و در زمان رسیدن به نقطه اوج هیدروگراف (آغاز شاخه نزولی هیدروگراف).

پس از پایان هر آزمایش، رسوبات تله اندازی شده در مخازن مشبک به داخل ظروف مخصوص که قبلاً توزین شده منتقل و جهت خشک نمودن به داخل دستگاه خشک کن منتقل می گردید. پس از خشک نمودن رسوبات، آن ها را توزین نموده و بدین ترتیب مقدار رسوبات جمع آوری شده در هر قسمت بدست می آید. با تقسیم زمان عبور جریان (زمان پایه هیدروگراف) بر تعداد قسمت های جمع آوری رسوب، زمان عبور برای هر قسمت از زیر شکاف تله اندازی بدست می آید. حاصل تقسیم وزن رسوب تله اندازی شده در هر قسمت بر زمان عبور، دبی رسوب کف عبوری را بطور متوسط در فاصله زمانی کوتاه مشخص می نماید.

۳-۱۵- برداشت اطلاعات از روی فیلم های گرفته شده

از آنجایی که سیلاب های تولیدی در این تحقیق بعنوان یک جریان متغیر سریع می باشد لذا تغییرات زمانی پارامترهای هیدرولیکی جریان بسیار مهم و حائز اهمیت است. از اینرو در فیلم های ضبط شده، لازم است که زمان در لحظه های مختلف مشخص باشد. حین انجام آزمایش کورنومتر مورد استفاده قرار گرفت. شروع کورنومتر دقیقاً با شروع هیدروگراف هماهنگ می باشد.

پارامتری که در طول آزمایش برداشت گردید شامل تغییرات وزنی رسوبات بار کف منتقل شده توسط جریان در زمان‌های مختلف بود. به این ترتیب منحنی تغییرات وزنی رسوبات در مقابل زمان برای هیدروگراف‌های جریان ورودی مختلف بدست آمد که این موضوع تاثیر شکل هیدروگراف ورودی مختلف را بر فرسایش بستر رسوبی نشان می‌دهد.

۳-۱۶- آنالیز ابعادی

پدیده‌ها اغلب به متغیرهای زیادی وابسته‌اند که بررسی تاثیر هر یک از متغیرها بر روی نمونه اصلی کار پرهزینه و وقت‌گیری است این مشکل با استفاده از تحلیل ابعادی حل شده است بدین ترتیب که بجای بررسی تاثیر تک‌تک متغیرها، اعداد بدون بعدی را به دست آورده که تعداد آن‌ها نسبت به متغیرها کم‌تر بوده و از آن‌ها در بررسی پدیده‌های مورد نظر استفاده می‌کنیم در واقع هدف از تحلیل ابعادی، کاهش متغیرها و گروه‌بندی آن‌ها به صورت پارامترهای بی‌بعد است. با استفاده از تحلیل ابعادی می‌توان در بسیاری از حالت‌ها رابطه‌ای پیچیده را تجزیه و تحلیل نموده و بین متغیرهای مختلف آن پدیده روابط صحیحی را ایجاد نمود که رابطه به دست آمده معمولاً ساده‌تر و منطبق با شرایط فیزیکی می‌باشد.

نکته مهم در رابطه مورد نظر این است که رابطه مذکور باید معنی‌دار، دارای کاربرد ساده و قابل استفاده در هر سیستم آحاد باشد. تحلیل ابعادی بر این اصل استوار است که در یک رابطه صحیح فیزیکی، هرگاه کمیت‌های مختلفی که در طرفین رابطه وجود دارند بر حسب پارامترهای اصلی دستگاه یکاهای آحادی نوشته شوند. پارامترهای اصلی دستگاه مختلف شامل طول، جرم و زمان می‌باشد و بدین ترتیب در طرفین یک رابطه صحیح فیزیکی باید نمای پارامترها یکسان باشد.

روش‌های مختلفی برای آنالیز ابعادی وجود دارد که از آنجمله می‌توان به روش π (باکینگهام)، روش ریلی و روش ماتریس حاصل ضرب‌های بی‌بعد اشاره کرد. در بین روش‌های فوق، روش π (باکینگهام) به

طور گسترده جهت تعیین نسبت‌های بدون بعد موثر در پدیده‌های مختلف فیزیکی استفاده می‌شود. در این تحقیق، روش π باکینگهام برای تحلیل ابعادی بین متغیرهای موثر بر انتقال بار کف در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه خشک مورد استفاده قرار گرفت.

متغیرهای موثر بر انتقال بار کف تحت تاثیر جریان غیرماندگار به شرح زیر می‌باشد.

$$f(m_s, d_{50}, \rho_w, \rho_s, Q_p, T_p, T_b, \mu, \omega_s, g, y_{it}, V_{it}) = 0 \quad (7-3)$$

در رابطه فوق، m_s دبی جرمی رسوب منتقل شده به پایین‌دست تحت تاثیر جریان غیرماندگار در زمان‌های مختلف (کیلوگرم بر ثانیه)، Q_p دبی اوج هیدروگراف ورودی (لیتر بر ثانیه)، T_p مدت زمان رسیدن هیدروگراف به نقطه اوج (ثانیه)، T_b زمان پایه هیدروگراف ورودی (ثانیه)، ρ_w جرم مخصوص آب (کیلوگرم بر متر مکعب)، ρ_s جرم مخصوص ذرات بستر (کیلوگرم بر متر مکعب)، μ لزجت دینامیکی آب (کیلوگرم ثانیه بر متر)، w_s سرعت سقوط ذرات رسوب (متر بر ثانیه)، g شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)، d_{50} اندازه متوسط ذرات بستر (متر)، y_{it} عمق جریان (متر) و V_{it} سرعت جریان (متر بر ثانیه) می‌باشند. سه پارامتر ρ_w ، V_{it} و y_{it} بعنوان متغیرهای اصلی یا تکرار شونده در نظر گرفته شدند. گروه‌های بدون بعد حاصل، بشرح زیر بدست آمدند:

(8-3)

$$\pi_1 = (\rho_w)^{a_1} \cdot (y_{it})^{b_1} \cdot (V_{it})^{c_1} \cdot m_s = (ML^{-3})^{a_1} \cdot (L)^{b_1} \cdot (LT^{-1})^{c_1} \cdot MT^{-1} \rightarrow \pi_1 = (\rho_w^{-1}) \cdot (y_{it})^{-2} \cdot (V_{it})^{-1} \cdot m_s$$

$$\pi_2 = (\rho_w)^{a_2} \cdot (y_{it})^{b_2} \cdot (V_{it})^{c_2} \cdot T_b = (ML^{-3})^{a_2} \cdot (L)^{b_2} \cdot (LT)^{c_2} \cdot T \rightarrow \pi_2 = (y_{it})^{-1} \cdot (V_{it})^1 \cdot T_b \quad (9-3)$$

$$\pi_3 = (\rho_w)^{a3} \cdot (y_{it})^{b3} \cdot (V_{it})^{c3} T_p = (ML^{-3})^{a3} \cdot (L)^{b3} \cdot (LT)^{c3} T \rightarrow \pi_3 = (y_{it})^{-1} \cdot (V_{it})^1 T_p \quad (10-3)$$

$$\pi_4 = (\rho_w)^{a4} \cdot (y_{it})^{b4} \cdot (V_{it})^{c4} \cdot Q_p = (ML^{-3})^{a4} \cdot (L)^{b4} \cdot (LT)^{c4} \cdot L^3 T^{-1} \rightarrow \pi_4 = (y_{it})^{-2} \cdot (V_{it})^{-1} \cdot Q_p \quad (11-3)$$

$$\pi_5 = (\rho_w)^{a5} \cdot (y_{it})^{b5} \cdot (V_{it})^{c5} \cdot \mu = (ML^{-3})^{a5} \cdot (L)^{b5} \cdot (LT)^{c5} \cdot ML^{-1} T^{-1} \rightarrow \pi_5 = (\rho_w)^{-1} (y_{it})^{-1} \cdot (V_{it})^{-1} \cdot \mu \quad (12-3)$$

$$\pi_6 = (\rho_w)^{a6} \cdot (y_{it})^{b6} \cdot (V_{it})^{c6} \cdot w_s = (ML^{-3})^{a6} \cdot (L)^{b6} \cdot (LT)^{c6} \cdot LT^{-1} \rightarrow \pi_6 = (V_{it})^{-1} \cdot w_s \quad (13-3)$$

$$\pi_7 = (\rho_w)^{a7} \cdot (y_{it})^{b7} \cdot (V_{it})^{c7} \cdot g = (ML^{-3})^{a7} \cdot (L)^{b7} \cdot (LT)^{c7} \cdot LT^{-2} \rightarrow \pi_7 = (y_{it})^1 (V_{it})^{-2} \cdot g \quad (14-3)$$

$$\pi_8 = (\rho_w)^{a8} (y_{it})^{b8} (V_{it})^{c8} d_{50} = (ML^{-3})^{a8} (L)^{b8} (LT^{-1})^{c8} L \rightarrow \pi_8 = (y_{it})^{-1} d_{50} \quad (15-3)$$

$$\pi_9 = (\rho_w)^{a9} (y_{it})^{b9} (V_{it})^{c9} \rho_s = (ML^{-3})^{a9} (L)^{b9} (LT^{-1})^{c9} ML^{-3} \rightarrow \pi_9 = (\rho_w)^{-1} \rho_s \quad (16-3)$$

گروه بدون بعد π_5 ، نشان دهنده معکوس عدد رینولدز می باشد. گروه بدون بعد π_6 ، به عنوان شاخص بار معلق کف و همچنین گروه بدون بعد π_7 ، برابر با مربع معکوس عدد فرود جریان می باشد. همچنین تعدادی از گروه های حاصل را می توان با انجام اعمال جبری با یکدیگر، به گروه های ساده تری تبدیل کرد.

$$\pi_9 = \frac{\pi_2}{\pi_3} = \frac{T_b}{T_p} \quad (17-3)$$

$$\pi_{10} = \frac{\pi_1}{\pi_4} = \frac{m_s}{(\rho_w Q_p)} \quad (18-3)$$

با توجه به روابط بالا خواهیم داشت:

$$f(\pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9, \pi_{10}) = 0 \quad (19-3)$$

$$f\left(\frac{\mu}{\rho_w \cdot y_{it} \cdot V_{it}}, \frac{m_s}{\rho_w \cdot Q_p}, \frac{T_p}{T_b}, \frac{w_s}{V_{it}}, \frac{g \cdot y_{it}}{V_{it}^2}, \frac{d_{50}}{y_{it}}\right) = 0 \quad (20-3)$$

گروه‌های بدون بعد به دست آمده از روش π باکینگهام در جدول (3-5) آورده شده است.

جدول 3-5- گروه‌های بدون بعد به دست آمده از روش π باکینگهام

π_5	π_6	π_7	π_8	π_9	π_{10}
$\frac{\mu}{\rho_w \cdot y_{it} \cdot V_{it}}$	$\frac{w_s}{V_{it}}$	$\frac{g \cdot y_{it}}{V_{it}^2}$	$\frac{d_{50}}{y_{it}}$	$\frac{T_p}{T_b}$	$\frac{m_s}{\rho_w \cdot Q_p}$

فصل چہارم

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

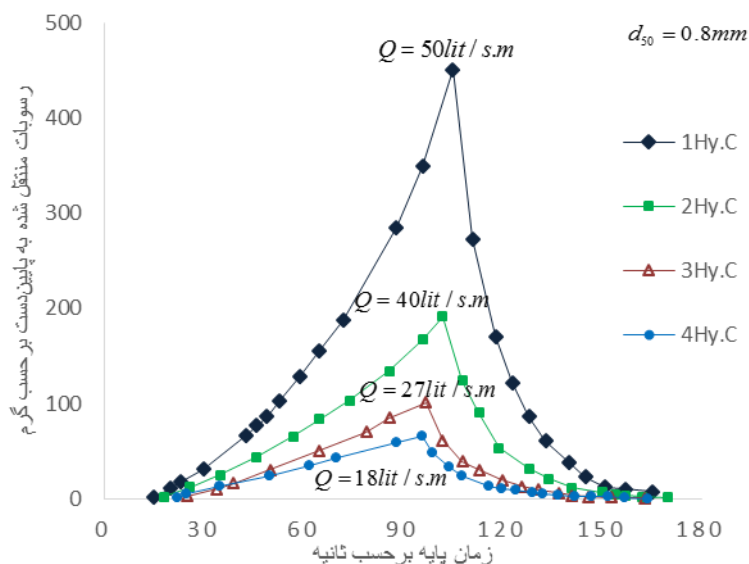
آزمایش‌های این تحقیق با هدف بررسی میزان انتقال بار کف به پایین‌دست و فرسایش بالادست کانال تحت تاثیر هیدروگراف‌های مختلف ورودی (مثلی متقارن و مثلی نامتقارن) انجام شد. در این آزمایش‌ها، از رسوبات با چهار دانه‌بندی مختلف استفاده شد. جنس رسوبات از ماسه رودخانه‌ای و یکنواخت با قطر متوسط ۰/۸، ۱/۸۵، ۳/۵ و ۷ میلی‌متر انتخاب شدند. هیدروگراف‌های جریان ورودی دارای سه زمان پایه ۹۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ ثانیه و دبی اوج بین ۱۸ تا ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر متغیر بود و تاثیر هر یک از این عوامل روی میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست بررسی شد. همچنین دو جریان پایه با دبی ۰/۸۵ و ۱/۱ لیتر بر ثانیه بر متر در کانال برقرار شد و انتقال بار کف به پایین‌دست تحت تاثیر هیدروگراف‌های ورودی، با جریان و بدون جریان پایه بررسی شد. در این فصل نتایج حاصل از تاثیر هر یک از عوامل ذکر شده بر فرسایش بستر رسوبی و میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست آمده است.

۴-۲- هیدروگراف‌های مثلی متقارن

۴-۲-۱- اثر دبی اوج هیدروگراف

هیدروگراف‌های مثلی متقارن با دبی اوج مختلف و زمان پایه یکسان روی بستر رسوبی جریان یافتند و تاثیر هر یک از آن‌ها بر انتقال بار بستر به پایین‌دست مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که دبی اوج هیدروگراف نقش بسیار زیادی در میزان انتقال بار بستر به پایین‌دست و فرسایش بالادست دارد. شکل ۴-۱ تغییرات دبی رسوب منتقل شده به پایین‌دست نسبت به زمان و تحت تاثیر

دبی‌های اوج مختلف و برای رسوبات با قطر $0/8$ میلی‌متر را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود هنگامیکه زمان پایه ثابت است با افزایش دبی اوج هیدروگراف ورودی، نقطه اوج هیدروگراف رسوب نیز افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر با افزایش دبی اوج هیدروگراف، قدرت جریان انتقال بار کف به پایین‌دست افزایش می‌یابد به این دلیل که با افزایش مقدار اوج هیدروگراف، قدرت موج اولیه جریان، افزایش پیدا کرده و در نتیجه می‌تواند در فرسایش بستر رسوبی موثر باشد. همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین‌دست نیز افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر با افزایش دبی اوج هیدروگراف توانایی جریان در انتقال بار کف به پایین‌دست افزایش پیدا می‌کند.



۴-۱- روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست در برابر زمان تحت تاثیر دبی‌های اوج مختلف و زمان پایه

یکسان برای رسوبات با قطر $0/8$ میلی‌متر

افزایش دبی یعنی افزایش سرعت، هنگامیکه سرعت زیاد می‌شود قدرت جریان برای انتقال بار بستر نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان رسوبات بیشتری به پایین‌دست منتقل شده و میزان فرسایش نیز افزایش می‌یابد.

جدول (۴-۱) مقادیر اوج هیدروگراف رسوب و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست را هنگامیکه دبی اوج متغیر و زمان پایه ثابت است برای چهار دانه بندی نشان می دهد. از روی جدول (۴-۱) می توان فهمید که بیشترین مقدار اوج هیدروگراف رسوب و بیشترین مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست هنگامیکه دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر است و کمترین مقدار اوج هیدروگراف رسوب و مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست هنگامیکه دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه بر متر است به دست آمد همچنین نکته دیگری که وجود دارد، می توان نتیجه گرفت هنگامیکه دبی از ۱۸ لیتر بر ثانیه بر متر به ۲۷، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر می رسد میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست بطور میانگین ۱/۱، ۲/۶ و ۶ برابر می شود.

جدول ۴-۱- مقادیر اوج سدیگراف رسوب و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست بر حسب گرم

هیدروگراف ورودی	قطر ذرات (mm)	مقدار اوج سدیگراف رسوب (gr)	مقدار کل رسوبات انتقال یافته (gr)	دبی $\left(\frac{lit}{s.m}\right)$
1Hy.C	۰/۸	۴۵۱/۱	۲۷۵۲/۵	۵۰
2Hy.C	۰/۸	۱۹۱/۴	۱۱۷۵/۹	۴۰
3Hy.C	۰/۸	۱۰۱/۳	۵۵۰/۹	۲۷
4Hy.C	۰/۸	۶۵/۱	۴۰۴/۶	۱۸
1Hy.C	۱/۸۵	۲۵۶/۶	۱۱۴۷/۹	۵۰
2Hy.C	۱/۸۵	۷۶/۸	۵۹۰/۶	۴۰
3Hy.C	۱/۸۵	۳۱/۴	۲۸۵/۳	۲۷
4Hy.C	۱/۸۵	۱۶/۵	۹۸/۷	۱۸
1Hy.C	۳/۵	۹۶/۷	۷۶۶/۵	۵۰
2Hy.C	۳/۵	۹۴/۴	۴۴۲/۴	۴۰
3Hy.C	۳/۵	۲۰/۶	۱۰۴/۳	۲۷
4Hy.C	۳/۵	۱۰/۵	۵۶/۹	۱۸
1Hy.C	۷	۵۴/۱	۳۹۳/۶	۵۰
2Hy.C	۷	۲۸/۵	۲۰۳/۶	۴۰
3Hy.C	۷	*	*	۲۷
4Hy.C	۷	*	*	۱۸

در حالت * هیچ رسوبی به پایین دست منتقل نشد.

نتایج آزمایش‌های کوهنل (۱۹۹۲)، حسن و همکاران (۲۰۰۶)، بمبار و همکاران (۲۰۱۱)، مائو (۲۰۱۲)، کریمایی طبرستانی و زراتی (۲۰۱۵) و آل‌بویه و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد شاخه صعودی هیدروگراف تلاطم بیشتری نسبت به شاخه نزولی آن دارد و به تبع آن مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر جریان غیرماندگار در شاخه صعودی هیدروگراف رسوب، بیشتر از مقدار آن در شاخه نزولی می‌باشد. در این تحقیق نیز نتایج به دست آمده نشان داد که شاخه صعودی هیدروگراف، رسوب بیشتری

نسبت به شاخه نزولی آن حمل می‌کند که این عامل نشان دهنده تاثیر موج اولیه جریان ورودی بر روی انتقال بار کف به پایین دست می‌باشد.

در جدول (۲-۴) تا (۵-۴) وزن رسوباتی که توسط شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف عبوری از روی رسوبات با قطر ۰/۸ و ۱/۸۵، ۳/۵ و ۷ میلی‌متر حمل می‌شود آورده شده است. همانطوری که در جدول‌ها نشان داده شده است وزن رسوبات حمل شده توسط شاخه صعودی هیدروگراف همواره بیشتر از وزن رسوباتی است که توسط شاخه نزولی هیدروگراف حمل می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شاخه صعودی هیدروگراف نسبت به شاخه نزولی هیدروگراف نقش بیشتری در فرسایش بالادست و انتقال رسوبات به پایین دست دارد.

جدول ۲-۴- وزن رسوبات حمل شده توسط شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف‌های مثلثی برای رسوبات با قطر ۰/۸

میلی‌متر

ردیف	هیدروگراف ورودی	وزن رسوب در شاخه صعودی (gr)	وزن رسوب در شاخه نزولی (gr)
۱	4Hy.A	۱۸۵/۳	۱۴۰/۲
۲	3Hy.A	۲۶۲/۵	۲۱۸/۸
۳	2Hy.A	۴۹۱/۶	۴۸۵
۴	1Hy.A	۱۲۱۴/۵	۱۰۶۷/۶
۵	4Hy.C	۲۴۵/۵	۲۲۴/۲
۶	3Hy.C	۳۶۴/۷	۲۸۷/۵
۷	2Hy.C	۸۲۶/۹	۵۴۰/۴
۸	1Hy.C	۱۹۵۰	۱۲۵۳/۶

جدول ۳-۴- وزن رسوبات حمل شده توسط شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف‌های مثلثی برای رسوبات با قطر ۱/۸۵ میلی‌متر

وزن رسوب در شاخه نزولی (gr)	وزن رسوب در شاخه صعودی (gr)	هیدروگراف ورودی	ردیف
۲۳/۸	۲۸/۶	4Hy.A	۱
۷۳/۳	۸۱/۷	3Hy.A	۲
۱۹۵/۷	۲۴۲/۵	2Hy.A	۳
۴۰۷/۲	۶۰۵/۱	1Hy.A	۴
۴۳/۲	۷۲	4Hy.C	۵
۱۳۹/۱	۱۷۷/۶	3Hy.C	۶
۲۴۲/۴	۴۲۵	2Hy.C	۷
۶۸۵/۴	۷۱۹/۱	1Hy.C	۸

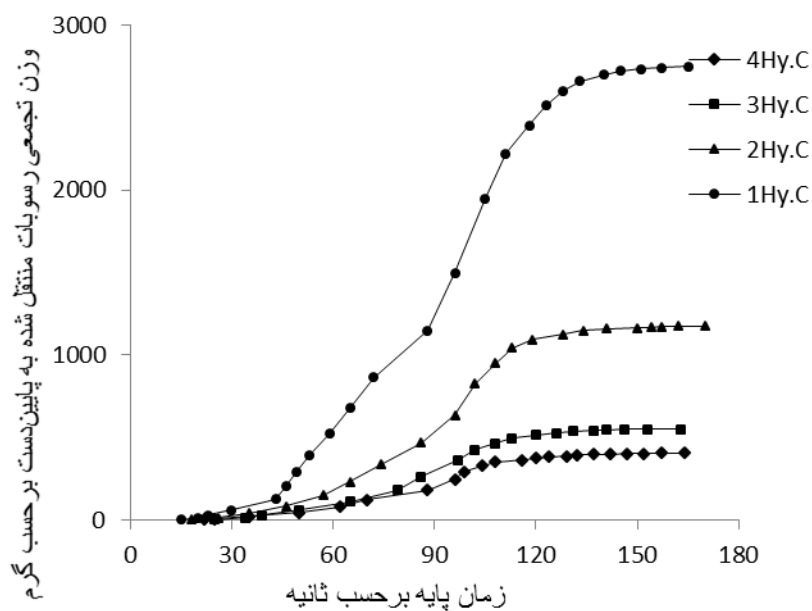
جدول ۴-۴- وزن رسوبات حمل شده توسط شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف‌های مثلثی برای رسوبات با قطر ۳/۵ میلی‌متر

وزن رسوب در شاخه نزولی (gr)	وزن رسوب در شاخه صعودی (gr)	هیدروگراف ورودی	ردیف
۱۲/۱	۱۵/۴	4Hy.A	۱
۱۳/۵	۱۷	3Hy.A	۲
۷۴/۶	۱۲۰	2Hy.A	۳
۲۴۳/۲	۲۵۹/۶	1Hy.A	۴
۹/۹	۱۳/۴	4Hy.B	۵
۲۰/۱	۲۰/۸	3Hy.B	۶
۱۷۰/۷	۲۰۶/۱	2Hy.B	۷
۳۶۱/۷	۳۷۱/۱	1Hy.B	۸
۲۹/۷	۳۹/۷	4Hy.C	۹
۵۷/۲	۶۷/۷	3Hy.C	۱۰
۲۱۹/۴	۲۷۲/۴	2Hy.C	۱۱
۳۶۴/۷	۵۳۶/۵	1Hy.C	۱۲

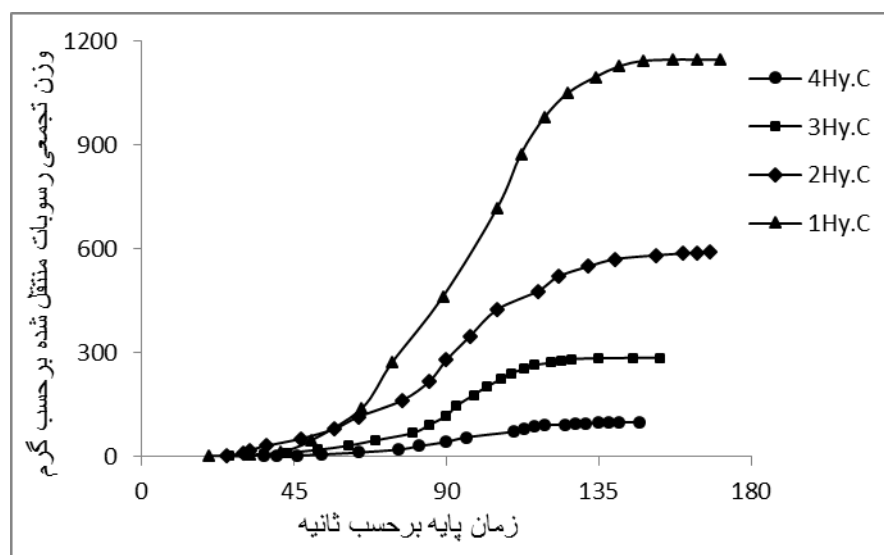
جدول ۴-۵ وزن رسوبات حمل شده توسط شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف‌های مثلی برای رسوبات با قطر ۷ میلی‌متر

ردیف	هیدروگراف ورودی	وزن رسوب در شاخه صعودی (gr)	وزن رسوب در شاخه نزولی (gr)
۱	4Hy.A	*	*
۲	3Hy.A	*	*
۳	2Hy.A	۳۹/۴	۲۸/۳
۴	1Hy.A	۱۸۱	۹۰/۵
۵	4Hy.B	*	*
۶	3Hy.B	*	*
۷	2Hy.B	۷۴/۱	۶۰/۴
۸	1Hy.B	۱۸۹/۳	۱۴۴/۴
۹	4Hy.C	*	*
۱۰	3Hy.C	*	*
۱۱	2Hy.C	۱۲۸/۳	۱۰۳/۸
۱۲	1Hy.C	۲۹۲/۴	۱۵۵/۳

شکل (۲-۴) و (۳-۴) تغییرات تجمعی میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست را برای هیدروگراف‌های مورد آزمایش و رسوبات با قطر ۰/۸ و ۱/۸۵ میلی‌متر نشان می‌دهد. همانطوری که دیده می‌شود هیدروگراف‌های دارای دبی اوج بیشتر تاثیر بیشتری در فرسایش بالادست و انتقال رسوبات به پایین‌دست دارند. نقطه عطف در نمودارهای فوق نقطه‌ای می‌باشد که هیدروگراف به نقطه اوج خود رسیده است.

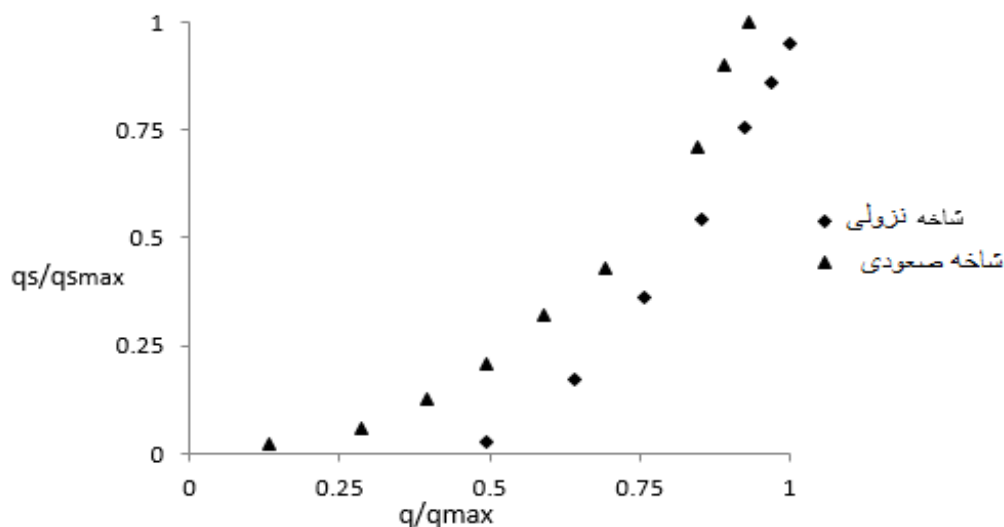


شکل ۴-۲- تغییرات تجمعی میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست بر حسب گرم برای رسوبات با قطر ۰/۸ میلی متر



شکل ۴-۳- تغییرات تجمعی میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست بر حسب گرم برای رسوبات با قطر ۱/۸۵ میلی متر

در شکل (۴-۴) تغییرات دبی رسوب منتقل شده به پایین دست در مقابل تغییرات دبی جریان، برای هیدروگراف ورودی $2Hy.A$ ، و رسوب با قطر $1/85$ میلی متر نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می شود که با افزایش دبی جریان، دبی رسوب منتقل شده به پایین دست نیز افزایش و با کاهش دبی، این مقدار کاهش پیدا می کند.



شکل ۴-۴- تغییرات دبی رسوب منتقل شده در مقابل تغییرات دبی جریان ورودی هیدروگراف $2Hy.A$

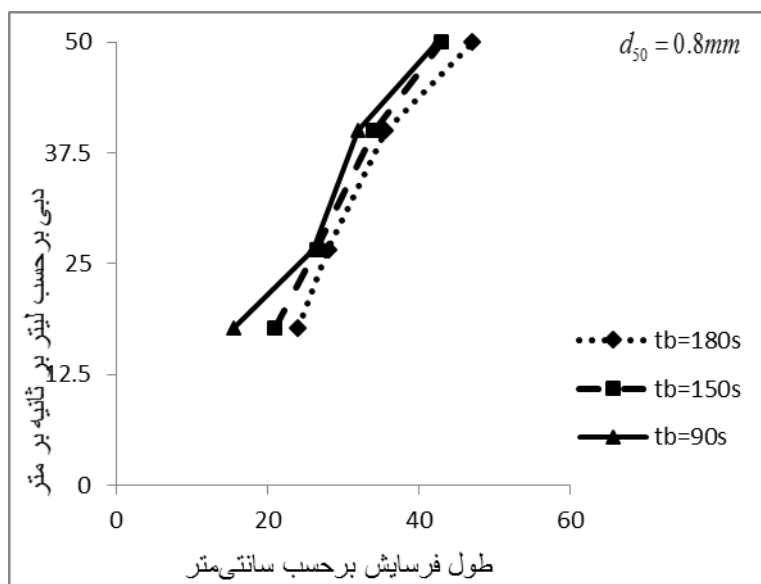
در شکل (۴-۴) شاخه صعودی هیدروگراف با مثلث و شاخه نزولی آن با علامت لوزی نشان داده شده است. همانطوری که در شکل ۴-۴ مشاهده می شود، بین دبی اوج هیدروگراف ورودی و مقدار حداکثر دبی رسوب منتقل شده به پایین دست اختلاف زمانی وجود دارد که تاخیر زمانی نامیده می شود. این تاخیر زمانی ناشی از نیروی اینرسی ذرات بستر می باشد. چون هنگامی که موج اولیه جریان روی ذرات بستر تاثیر می گذارد، به دلیل نیروی اینرسی ذرات، مدت زمانی طول می کشد تا ذرات بستر به حرکت درآیند در نتیجه هنگامی که ذرات شروع به حرکت می کنند، موج جریان قبلاً عبور کرده و تاخیر زمانی بین هیدروگراف و سدیگراف رسوب ایجاد می شود. محققین زیادی در آزمایش های مربوط به انتقال بار

کف تحت تاثیر جریان غیرماندگار، این تاخیر زمانی را مشاهده کرده و مورد بررسی قرار داده‌اند. از آنجمله می‌توان به نتایج تحقیقات گریفیث و سوترلند (۱۹۹۷)، لی و همکاران (۲۰۰۴)، بمبار و همکاران (۲۰۱۱)، آل‌بویه و همکاران (۱۳۹۲) و وانگ و همکاران (۲۰۱۴) و (۲۰۱۵) اشاره نمود که اختلاف زمانی در آزمایش‌های گریفیث و سوترلند ۵ تا ۱۰ درصد، لی و همکاران ۶ تا ۱۵ درصد، بمبار و همکاران ۴ تا ۱۴ درصد و آل‌بویه و همکاران ۵ تا ۱۱ درصد را گزارش نموده‌اند. در تحقیق حاضر تاخیر زمانی بین دبی اوج هیدروگراف و اوج سدیگراف معادل با ۳ تا ۱۲ درصد زمان پایه هیدروگراف اندازه‌گیری شد.

۴-۲-۲- طول و عمق فرسایش و طول رسوب‌گذاری در اثر هیدروگراف جریان سیلابی

در آزمایش‌های انجام شده عمق جریان در ابتدای بستر رسوبی در زمان‌های مختلف دارای بیشترین مقدار بوده و بتدریج که به سمت پایین‌دست می‌رفت کاهش می‌یافت. مشاهده شد که فاصله ابتدای بستر از محل فرسایش برای تمامی آزمایشات خیلی کمتر از فاصله محل رسوب‌گذاری است. در انتهای تمامی آزمایشات عدد مربوط به بیشترین عمق فرسایش، طول فرسایش و همچنین طول رسوب‌گذاری برداشت شد که نتایج آن‌ها در شکل‌های ۴-۵ تا ۴-۷ برای هیدروگراف‌های با دبی اوج و زمان پایه متفاوت و ذرات رسوبی با قطر ۰/۸ میلی‌متر نشان داده شده است. شکل ۴-۵ طول فرسایش را بر حسب سانتی‌متر برای ذرات رسوبی با قطر ۰/۸ میلی‌متر و دبی‌های اوج ۱۸، ۲۷، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه‌های ۹۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ ثانیه نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود هنگامیکه زمان پایه ثابت باشد با افزایش دبی اوج هیدروگراف ورودی طول فرسایش افزایش پیدا می‌کند که کم‌ترین طول فرسایش برای دبی متغیر و زمان پایه ثابت، موقعی که دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه بر متر و بیشترین طول فرسایش موقعی که دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر بود بدست آمد، همچنین در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود که

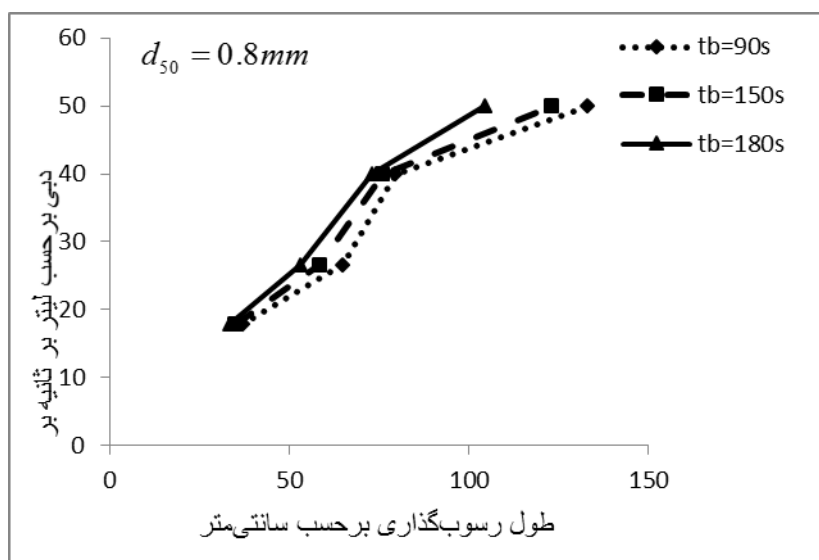
کمترین میزان طول فرسایش برای ذرات رسوب با قطر $0/8$ میلی‌متر، در دبی اوج 18 لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه 90 ثانیه، $15/5$ سانتی‌متر و بیشترین مقدار طول فرسایش در دبی اوج 50 لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه 180 ثانیه که برابر با 47 سانتی‌متر می‌باشد، بدست آمد.



شکل ۴-۵- طول فرسایش برحسب سانتی‌متر برای هیدروگراف‌های با دبی اوج و زمان پایه متفاوت و ذرات رسوب با قطر $0/8$ میلی‌متر

شکل ۴-۶ طول رسوب‌گذاری را برحسب سانتی‌متر برای ذرات رسوبی با قطر $0/8$ میلی‌متر و دبی اوج و زمان پایه متغیر نشان می‌دهد. همانطوری که در شکل ۴-۶ ملاحظه می‌شود هنگامی که زمان پایه ثابت و دبی اوج متغیر می‌باشد، با افزایش دبی اوج هیدروگراف جریان ورودی طول رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد، طوری که کمترین طول رسوب‌گذاری مربوط به دبی اوج 18 لیتر بر ثانیه بر متر و بیشترین طول رسوب‌گذاری هنگامیکه دبی 50 لیتر بر ثانیه بر متر بود بدست آمد. همچنین هنگامیکه دبی ثابت و زمان پایه متغیر باشد با افزایش زمان پایه طول رسوب‌گذاری نیز افزایش پیدا می‌کند، کمترین طول

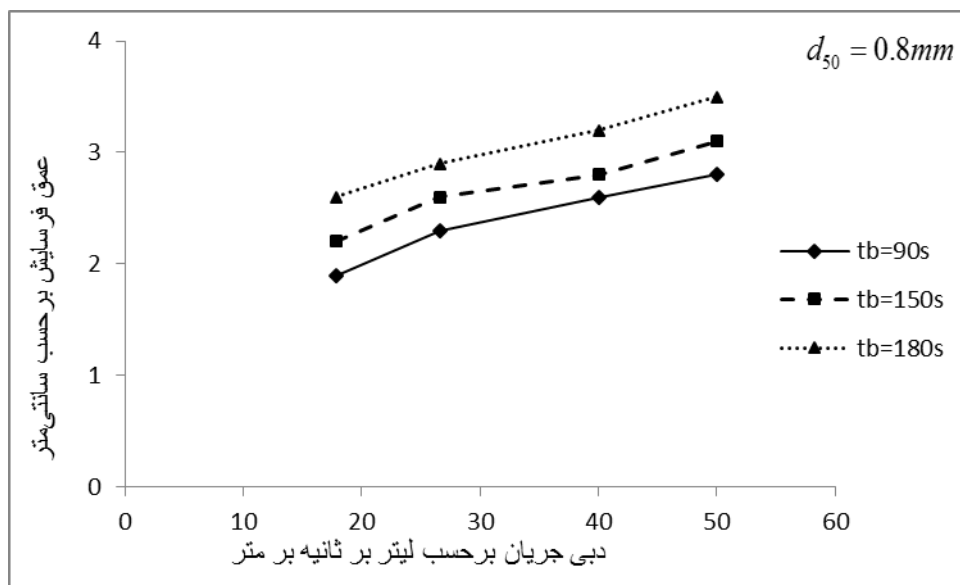
رسوب‌گذاری هنگامیکه دبی ثابت و زمان پایه متغیر است برای زمان پایه ۹۰ ثانیه و بیشترین طول رسوب‌گذاری برای زمان پایه ۱۸۰ ثانیه بدست آمد. با توجه به شکل ۴-۶ کمترین طول رسوب‌گذاری هنگامیکه دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه ۹۰ ثانیه است برابر با ۳۳/۵ سانتی‌متر و بیشترین طول رسوب‌گذاری هنگامیکه دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه و زمان پایه ۱۸۰ ثانیه است برابر با ۱۳۳ سانتی‌متر بدست آمد.



شکل ۴-۶- طول رسوب‌گذاری بر حسب سانتی‌متر برای هیدروگراف‌های با دبی اوج و زمان پایه متفاوت و ذرات رسوبی با قطر ۰/۸ میلی‌متر

شکل ۴-۷ میزان عمق فرسایش را برای هیدروگراف‌های با دبی اوج و زمان پایه متفاوت برای ذرات رسوبی با قطر ۰/۸ میلی‌متر نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود هنگامیکه زمان پایه یکسان باشد با افزایش دبی اوج هیدروگراف جریان ورودی عمق فرسایش نیز افزایش پیدا می‌کند همچنین هنگامیکه دبی ثابت باشد با افزایش زمان پایه هیدروگراف عمق فرسایش افزایش می‌یابد. در شکل ۴-۷ کمترین مقدار عمق فرسایش مربوط به دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه ۹۰ ثانیه که برابر با ۱/۹ سانتی‌متر و بیشترین

مقدار عمق فرسایش مربوط به دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه ۱۸۰ ثانیه که برابر با ۳/۵ سانتی متر می باشد بدست آمد.



شکل ۴-۷- میزان عمق فرسایش برحسب سانتی متر برای هیدروگراف‌های با دبی اوج و زمان پایه متفاوت و قطر ذرات رسوبی ثابت و برابر با ۰/۸ میلی متر

جدول ۴-۶ تا ۴-۹ بیشترین طول فرسایش و رسوبگذاری و عمق فرسایش را هنگامیکه قطر ذرات رسوبی تغییر می کند در دبی های ۱۸، ۲۷، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه ۹۰ ثانیه نشان می دهد. همانطوری که مشاهده می شود هنگامیکه دبی و زمان پایه ثابت باشد با کاهش قطر ذرات رسوبی طول فرسایش و رسوب گذاری و همچنین عمق فرسایش افزایش پیدا می کند، در تمامی جدول ها کمترین طول و عمق فرسایش و طول رسوب گذاری برای ذرات با قطر ۷ میلی متر و بیشترین طول و عمق فرسایش و طول رسوب گذاری برای ذرات با قطر ۰/۸ میلی متر بدست آمد.

جدول ۴-۶- طول و عمق فرسایش و طول رسوب گذاری بر حسب سانتی متر برای ذرات رسوبی با قطر متفاوت و

هیدروگراف $4Hy.A$

ردیف	قطر ذرات رسوبی (mm)	طول فرسایش (cm)	طول رسوب گذاری (cm)	عمق فرسایش (cm)
۱	۷	*	*	*
۲	۳/۵	۳	۵	۰/۲
۳	۱/۸۵	۸	۱۱	۰/۸
۴	۰/۸	۱۵/۵	۳۵/۵	۱/۹

در حالت * هیچ رسوبی به پایین دست منتقل نشد.

جدول ۴-۷- طول و عمق فرسایش و طول رسوب گذاری بر حسب سانتی متر برای ذرات رسوبی با قطر متفاوت و

هیدروگراف $3Hy.A$

ردیف	قطر ذرات رسوبی (mm)	طول فرسایش (cm)	طول رسوب گذاری (cm)	عمق فرسایش (cm)
۱	۷	*	*	*
۲	۳/۵	۸	۱۴	۰/۵
۳	۱/۸۵	۱۱	۳۲	۱/۱
۴	۰/۸	۲۶	۵۳	۲/۳

جدول ۴-۸- طول و عمق فرسایش و طول رسوب گذاری بر حسب سانتی متر برای ذرات رسوبی با قطر متفاوت و $2Hy.A$

ردیف	قطر ذرات رسوبی (mm)	طول فرسایش (cm)	طول رسوب گذاری (cm)	عمق فرسایش (cm)
۱	۷	۵	۷	۰/۳
۲	۳/۵	۱۴/۵	۲۵/۵	۰/۹
۳	۱/۸۵	۲۰	۴۱	۱/۴
۴	۰/۸	۳۲	۷۳	۲/۶

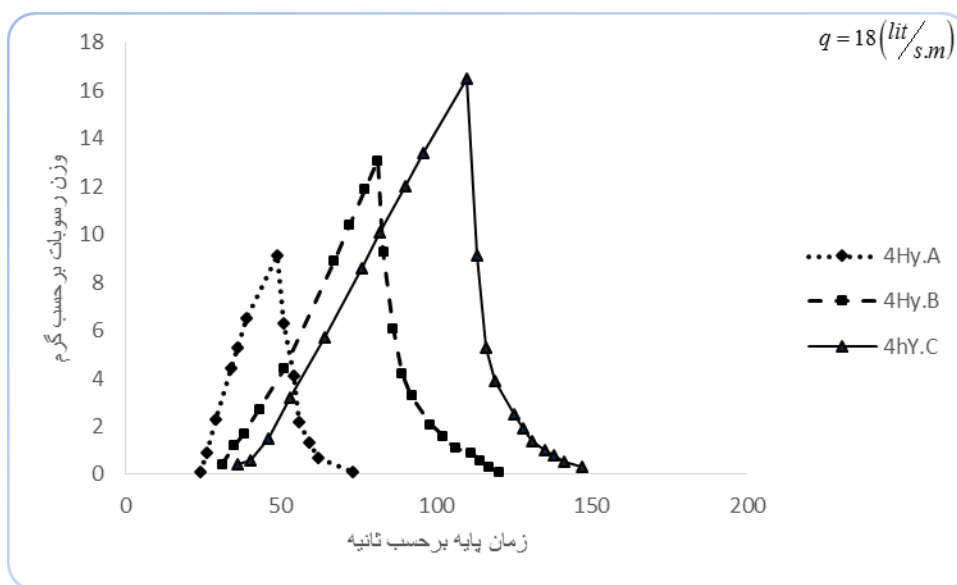
جدول ۴-۹- طول و عمق فرسایش و طول رسوب گذاری بر حسب سانتی متر برای ذرات رسوبی با قطر متفاوت و
هیدروگراف $1Hy.A$

ردیف	قطر ذرات رسوبی (mm)	طول فرسایش (cm)	طول رسوب گذاری (cm)	عمق فرسایش (cm)
۱	۷	۹	۱۲	۰/۶
۲	۳/۵	۲۰	۴۳	۱/۱
۳	۱/۸۵	۳۵	۸۲	۱/۷
۴	۰/۸	۴۲/۵	۱۰۴/۵	۲/۸

۴-۲-۳- اثر زمان پایه هیدروگراف

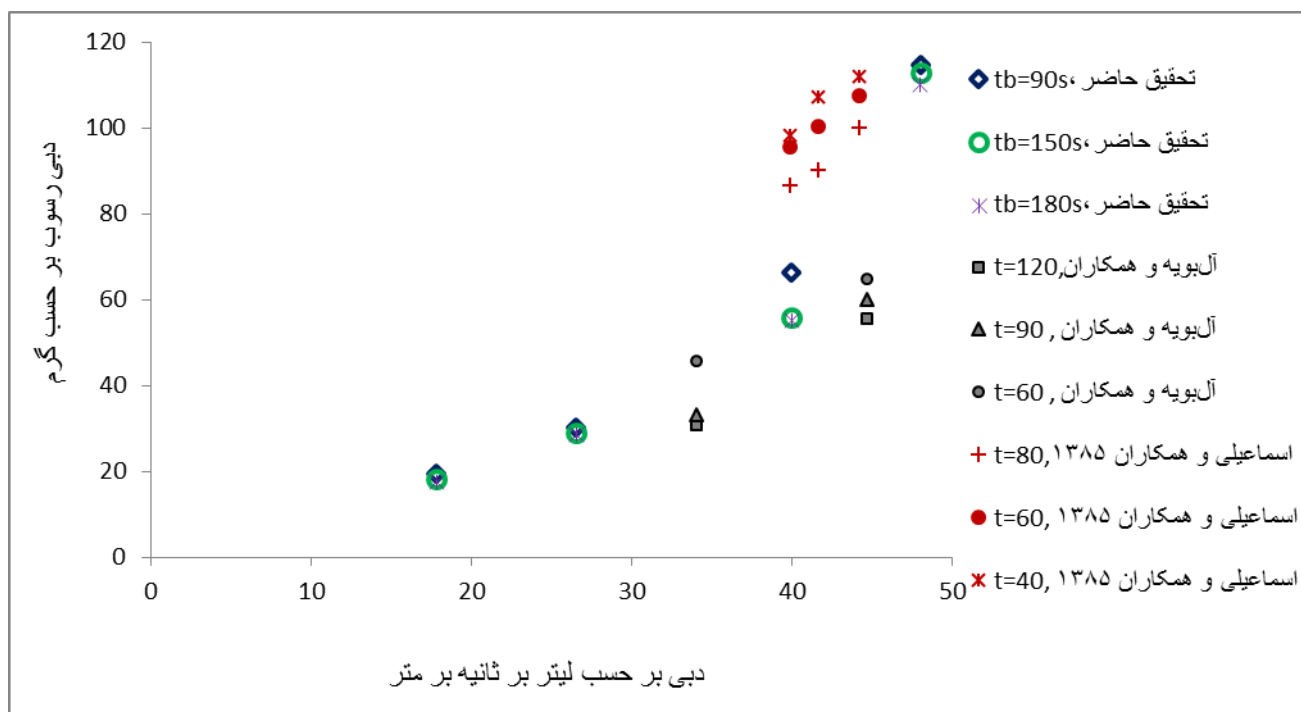
در این قسمت از تحقیق، تاثیر هیدروگراف های جریان در انتقال بار کف به پایین دست که دارای دبی اوج یکسان ولی زمان پایه متفاوت می باشند، بررسی شد. شکل ۴-۸ تاثیر زمان پایه هیدروگراف های ورودی را بر روی میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست و برای هیدروگراف های دارای دبی اوج یکسان ۱۸ لیتر

بر ثانیه بر متر و زمان پایه متفاوت هنگامیکه قطر ذرات رسوبی برابر $1/85$ میلی‌متر می‌باشد نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴-۸ مشاهده می‌شود، با توجه به اینکه دبی اوج هیدروگراف‌های جریان ورودی به کانال برای هر سه هیدروگراف یکسان و برابر با 18 لیتر بر ثانیه بر متر می‌باشد، اما سدیگراف رسوب ناشی از این هیدروگراف‌ها متفاوت بوده بطوریکه با افزایش زمان پایه، مقدار اوج سدیگراف نیز افزایش پیدا می‌کند، بطوریکه نقطه اوج سدیگراف در زمان پایه 90 ، 150 و 180 ثانیه به ترتیب برابر با $9/1$ ، $13/1$ و $16/5$ گرم می‌باشد، همچنین نکته دیگری که وجود دارد این است که با افزایش زمان پایه میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین‌دست نیز افزایش پیدا می‌کند. افزایش زمان پایه یعنی اینکه جریان فرصت بیشتری برای ایجاد فرسایش دارد. میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین‌دست در زمان پایه 90 ، 150 و 180 ثانیه به ترتیب برابر با $43/3$ ، $84/3$ و $98/7$ گرم می‌باشد.



شکل ۴-۸- روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست در برابر زمان تحت تاثیر هیدروگراف‌های با دبی اوج یکسان و زمان پایه متفاوت

همچنین در شکل ۴-۹ مشاهده می‌شود که برای هیدروگراف‌های با دبی اوج یکسان، با افزایش زمان پایه هیدروگراف، دبی متوسط رسوبات منتقل شده به پایین دست کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش دبی اوج هیدروگراف، تغییرات دبی متوسط رسوبات منتقل شده، با افزایش زمان پایه هیدروگراف کمتر می‌شود. نتایج بدست آمده در این قسمت با نتایج حاصل از آزمایشات (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۵) و (آلبویه و همکاران، ۱۳۹۲) مقایسه گردید. با وجود اختلاف در مقدار دبی اوج هیدروگراف و زمان پایه انتخابی در آزمایشات (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۵)، (آلبویه و همکاران، ۱۳۹۲) و آزمایشات تحقیق حاضر، مطابقت خوبی از نظر روند تغییرات مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۹- تغییرات متوسط دبی رسوب تحت تاثیر دبی و زمان پایه مختلف هیدروگراف

جدول ۴-۱۰ مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف‌های متفاوت و بر روی ذرات رسوبی با قطر $0/8$ میلی‌متر نشان می‌دهد. همانطوری که در جدول ۴-۱۰ نشان داده شده، برای

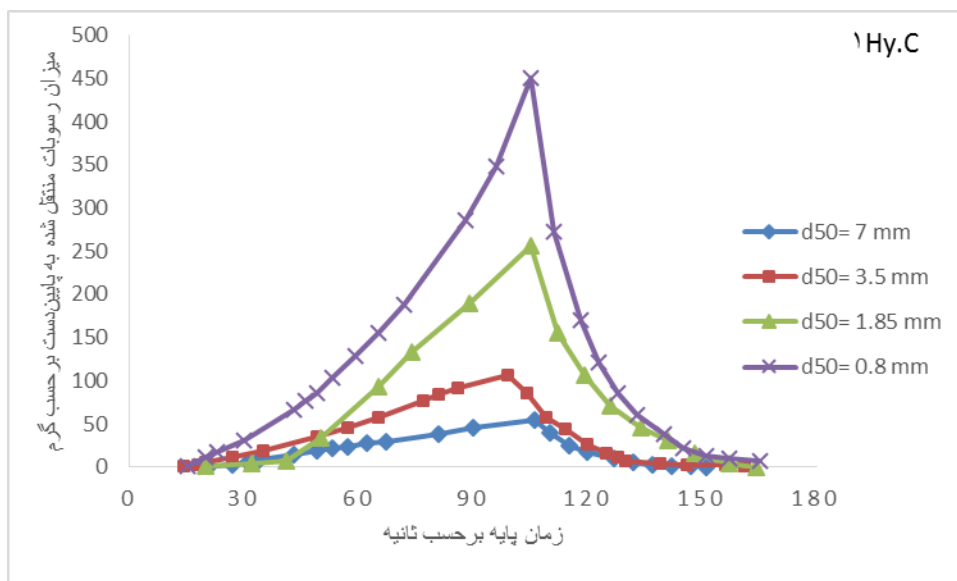
هیدروگراف‌های با دبی اوج ثابت، با افزایش زمان پایه هیدروگراف، مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست افزایش می‌یابد به طوری که با افزایش زمان پایه از ۹۰ ثانیه به ۱۵۰ ثانیه و از ۹۰ ثانیه به ۱۸۰ ثانیه میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست به ترتیب ۲۳ و ۴۶ درصد افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۴-۱۰- کل رسوبات منتقل شده به پایین دست توسط هیدروگراف‌های ورودی

کل رسوبات منتقل شده به پایین دست (<i>gr</i>)			
<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	دبی اوج هیدروگراف ورودی
۲۷۵۲/۵	۲۱۴۳/۸	۱۸۷۱/۴	1Hy
۱۱۷۵/۹	۹۹۰/۳	۷۹۴/۶	2Hy
۵۵۰/۹	۴۵۸/۵	۳۹۰/۹	3Hy
۴۰۴/۶	۳۶۸/۵	۲۷۱/۲	4Hy

۴-۲-۴- اثر قطر ذرات رسوبی

در تحقیق به عمل آمده، هیدروگراف‌های مثلثی متقارن که دارای دبی اوج و زمان پایه یکسان بودند بر روی بستر رسوبی با دانه‌بندی‌های متفاوت جریان یافتند و تاثیر دانه‌بندی‌های مختلفی از ذرات رسوبی برای بستر، مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. شکل ۴-۱۰ تاثیر قطر ذرات را هنگامیکه زمان پایه و دبی ثابت و به ترتیب برابر با ۱۸۰ ثانیه و ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر هستند بر روی میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴-۱۰ می‌توان مشاهده نمود هنگامیکه دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه ۱۸۰ ثانیه می‌باشد با کاهش قطر ذرات رسوبی میزان اوج سدیگراف و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین‌دست افزایش پیدا می‌کند. جدول ۴-۱۱ و ۴-۱۴ مقادیر اوج سدیگراف رسوب و همچنین مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین‌دست را تحت تاثیر هیدروگراف‌های $1Hy.C$ ، $2Hy.C$ ، $3Hy.C$ و $4Hy.C$ ، هنگامیکه قطر ذرات رسوبی متغیر است نشان می‌دهد با توجه به جدول-های زیر هنگامیکه قطر ذرات رسوبی از ۷ میلی‌متر به $۳/۵$ ، $۱/۸۵$ و $۰/۸$ میلی‌متر می‌رسد میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست به ترتیب $۱/۰۹$ ، $۱/۵۷$ و $۵/۲۸$ برابر می‌شود.



شکل ۴-۱۰- روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف‌های بادی اوج و زمان پایه یکسان و قطر متفاوت ذرات بستر

جدول ۴-۱۱- مقادیر اوج سدیگراف و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف Hy.C.

مقدار اوج سدیگراف رسوب (gr)	مقدار کل رسوبات انتقال یافته (gr)	قطر ذرات رسوبی (mm)
۵۴/۱	۳۹۳/۶	۷
۱۰۶/۷	۷۹۴/۵	۳/۵
۲۵۶/۶	۱۱۴۷/۹	۱/۸۵
۴۵۱/۱	۲۷۴۴/۹	۰/۸

جدول ۴-۱۲- مقادیر اوج سدیگراف رسوب و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف 2Hy.C

مقدار اوج سدیگراف رسوب (gr)	مقدار کل رسوبات انتقال یافته (gr)	قطر ذرات رسوبی (mm)
۲۸/۵	۲۰۳/۶	۷
۴۹/۴	۴۴۲/۴	۳/۵
۷۶/۸	۵۹۰/۶	۱/۸۵
۱۹۱/۴	۱۱۷۵/۹	۰/۸

جدول ۴-۱۳- مقادیر اوج سدیگراف و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف 3Hy.C

مقدار اوج سدیگراف رسوب (gr)	مقدار کل رسوبات انتقال یافته (gr)	قطر ذرات رسوبی (mm)
*	*	۷
۲۰/۶	۱۰۴/۳	۳/۵
۳۱/۴	۲۸۵/۳	۱/۸۵
۱۰۱/۳	۵۵۰/۹	۰/۸

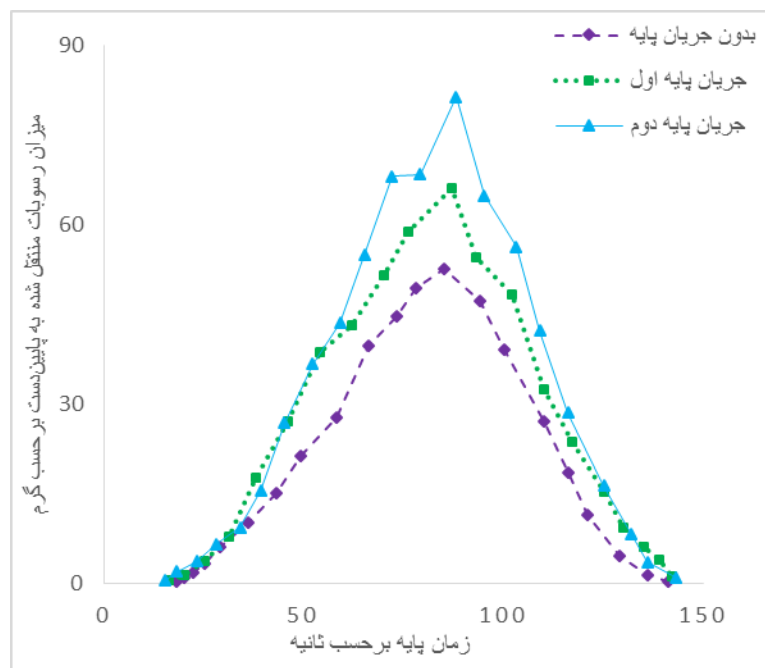
جدول ۴-۱۴- مقادیر اوج سدیگراف و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف $4Hy.C$

مقدار کل رسوبات انتقال یافته (gr)	مقدار اوج سدیگراف رسوب (gr)	قطر ذرات رسوبی (mm)
*	*	۷
۵۶/۹	۱۰/۵	۳/۵
۹۸/۷	۱۶/۵	۱/۸۵
۴۰۴/۶	۶۵/۱	۰/۸

۴-۲-۵- اثر جریان پایه

در این تحقیق اثر جریان غیرماندگار بر روی بار کف در حالت وجود جریان پایه و همچنین عدم وجود آن بررسی شد. بدین منظور دو جریان پایه $BF1$ و $BF2$ با دبی به ترتیب $۰/۸۵$ و $۱/۱$ لیتر بر ثانیه بر متر بطوریکه رسوبات قرار داده شده در کانال تحت تاثیر این دو جریان به پایین دست منتقل نشوند در نظر گرفته شد. هیدروگراف‌های مورد بررسی در این آزمایش‌ها شامل هیدروگراف‌های مثلثی با دبی اوج ۲۷ و ۴۰ لیتر بر ثانیه بر متر و دو زمان پایه ۹۰ و ۱۵۰ ثانیه بودند. این آزمایش‌ها برای ذرات رسوبی دارای قطر متوسط $۳/۵$ میلی‌متر انجام شد. عبور جریان پایه از روی بستر رسوبی باعث می‌شود که بستر اشباع شده و به این ترتیب شرایط برای انجام آزمایش و ورود هیدروگراف جریان فراهم می‌شود. سپس هیدروگراف جریان مورد نظر بطور همزمان با جریان پایه، وارد کانال شده و از روی بستر رسوبی عبور می‌کند. شکل ۴-۱۱ میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست را برای رسوبات با قطر $۳/۵$ میلی‌متر و دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه ۱۵۰ ثانیه، در صورت وجود و عدم وجود جریان پایه نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴-۱۱ دیده می‌شود با افزایش دبی جریان پایه میزان حداکثر رسوب

منتقل شده به پایین دست افزایش می‌یابد و در حالتی که جریان پایه نداریم میزان رسوب منتقل شده به پایین دست به کمترین مقدار خود می‌رسد. نتایج نشان داد که مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف ورودی، در حالتی که جریان پایه بیشتر از مقدار کل رسوبات انتقالی در حالتی است که جریان پایه وجود ندارد. همچنین هنگامی که دبی جریان پایه کاهش می‌یابد مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست نیز کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر می‌توان اینطور بیان کرد که در شرایطی که دبی جریان پایه کم می‌شود میزان فرسایش و انتقال رسوبات به پایین دست نیز کاهش پیدا کرده و در حالتی که جریان پایه نداریم این مقدار، به حداقل ممکن کاهش پیدا می‌کند. نقطه اوج سدیگراف در حالتی که جریان پایه نداریم برابر با $52/6$ گرم و در حالتی که دبی جریان پایه برابر با $0/85$ و $1/1$ لیتر بر ثانیه می‌باشد به ترتیب برابر با $66/1$ و $81/3$ گرم می‌باشد. میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست در حالتی که دبی جریان پایه برابر با $0/85$ لیتر بر ثانیه است در مقایسه با حالتی که جریان پایه نداریم 21 درصد و در حالتی که دبی جریان پایه $1/1$ لیتر بر ثانیه است در مقایسه با حالتی که جریان پایه نداریم 51 درصد افزایش پیدا کرده است. وجود جریان پایه در کانال و نیرویی که از طرف آن بر ذرات رسوبی وارد می‌شود باعث سست شدن ذرات بستر شده و در نتیجه در چنین حالتی رخداد هیدروگراف می‌تواند با وارد کردن نیرویی کم ذرات رسوب را به حرکت در آورده و باعث ایجاد فرسایش و انتقال رسوبات به پایین دست بستر شود، جریان پایه با ایجاد قشری بر روی بستر از زبری آن تا حدودی خواهد کاست، ولی تنش برشی وارد بر کف نیز افزایش می‌یابد. چنین شرایطی از سویی کاهش نسبی عمق جریان را در سطح بستر به همراه داشته و از سوی دیگر افزایش دبی بار کف را موجب می‌شود. بنابراین وجود جریان پایه در کانال در انتقال بار کف تاثیری مثبت دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وجود جریان پایه در کانال در فرسایش بالادست و انتقال رسوبات به پایین دست موثر می‌باشد و می‌تواند شدت فرسایش را افزایش دهد.



شکل ۴-۱۱- روند تغییرات میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست در برابر زمان، تحت تاثیر جریان پایه و بدون وجود

آن برای هیدروگراف $2Hy.B$

جدول ۴-۱۵ مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست را تحت تاثیر هیدروگراف‌های مختلف جریان، با و بدون جریان پایه نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴-۱۵ مشاهده می‌شود که میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست در حالتی که دبی جریان پایه $0/85$ لیتر بر ثانیه بر متر است در مقایسه با حالتی که جریان پایه نداریم ۵۴ درصد و در حالتی که دبی جریان پایه $1/1$ لیتر بر ثانیه بر متر است در مقایسه با حالتی که جریان پایه نداریم ۹۵ درصد افزایش پیدا کرده است.

جدول ۴-۱۵- مقدار کل رسوب منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف‌های مختلف جریان، با و بدون جریان پایه

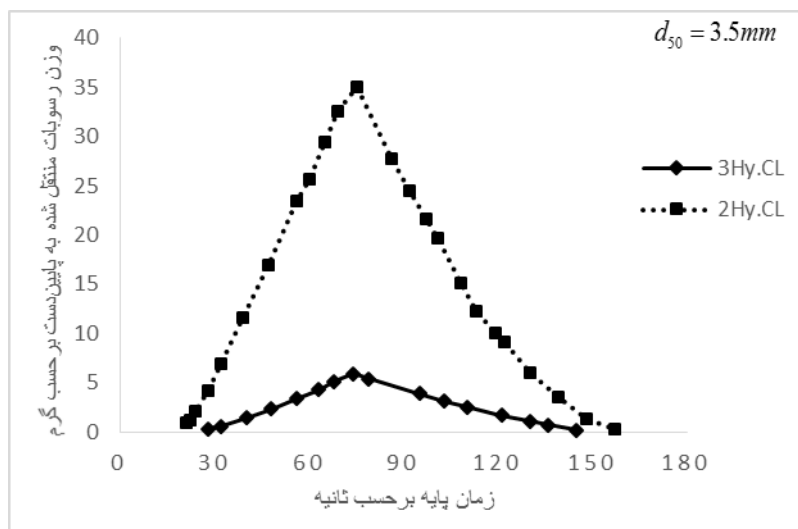
وزن کل رسوب منتقل شده به پایین دست (gr)			
هیدروگراف ورودی	بدون جریان پایه	جریان پایه اول ($BF1$)	جریان پایه دوم ($BF2$)
2HyA	۱۶۵/۵	۲۶۰/۳	۳۴۶/۶
2HyB	۴۲۳/۴	۵۱۱/۹	۶۳۸/۷
3HyA	۲۵/۳	۳۸/۹	۵۱/۸
3HyB	۳۵/۵	۶۶/۲	۷۶/۴

۴-۳- هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن

تاثیر هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن روی میزان بار کف منتقل شده به پایین دست، با یکدیگر و همچنین با هیدروگراف‌های مثلثی متقارنی که دبی، زمان پایه و دانه‌بندی مشابه دارند بررسی و مقایسه شدند. این سری از آزمایش‌ها همانند آزمایش‌های هیدروگراف‌های مثلثی متقارن، تحت تاثیر عواملی همچون، اثر دبی اوج، زمان پایه، قطر ذرات و جریان پایه بررسی شد.

۴-۳-۱- اثر دبی اوج هیدروگراف

هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن در دبی‌های اوج مختلف و زمان پایه یکسان و در شیب ۰/۰۰۰۱ از کانال آزمایشگاهی مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل ۴-۱۲ تاثیر هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن با زمان پایه ۱۸۰ ثانیه و بازوی بالارونده سریع (CL) را بر انتقال بار کف به پایین دست در دبی‌های اوج مختلف ۲۷ و ۴۰ لیتر بر ثانیه بر متر، بر روی ذرات رسوبی با قطر ۳/۵ میلی‌متر را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲- روند تغییرات میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست در برابر زمان، تحت تاثیر هیدروگراف‌های مثلثی

نامتقارن و دبی اوج متفاوت و زمان پایه یکسان

شکل (۴-۱۲) تغییرات میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست را تحت تاثیر هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن با دبی اوج متغیر ۲۷ و ۴۰ لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه ثابت ۱۸۰ ثانیه که چولگیشان به سمت چپ می‌باشد بر روی ذرات رسوبی با قطر ۳/۵ میلی‌متر نشان می‌دهد. همانطور که از شکل (۴-۱۲) می‌توان فهمید هنگامیکه زمان پایه ثابت می‌باشد با افزایش دبی اوج هیدروگراف ورودی میزان اوج سدیگراف رسوب و به تبع از آن میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست نیز افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۴-۱۶- کل رسوبات منتقل شده به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن برای ذرات رسوبی با قطر ۳/۵ و ۱/۸۵ میلی‌متر و زمان پایه ۱۵۰ و ۱۸۰ ثانیه

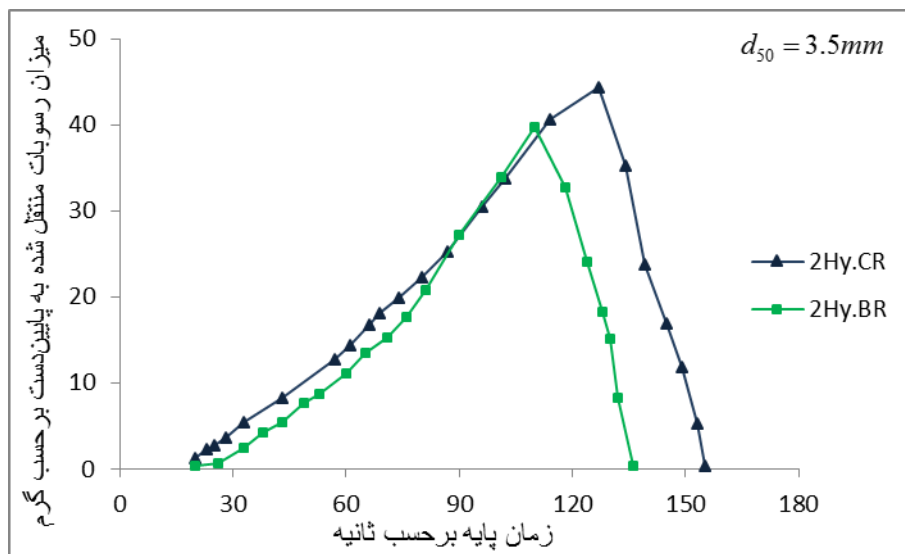
کل رسوبات منتقل شده به پایین دست (<i>gr</i>)			
3Hy	2Hy	قطر ذرات رسوبی (mm)	هیدروگراف ورودی
۳۰/۴	۲۵۳/۴	۳/۵	(BL)
۳۳/۸	۳۰۷/۴	۳/۵	(BR)
۴۱/۹	۳۴۱/۲	۳/۵	(CL)

۴۷/۳	۳۹۵/۱	۳/۵	(CR)
۹۰/۶	۳۷۷/۶	۱/۸۵	(BL)
۹۴/۸	۳۸۷/۴	۱/۸۵	(BR)
۱۱۲/۵	۴۳۹/۶	۱/۸۵	(CL)
۱۴۳/۲	۴۵۱/۳	۱/۸۵	(CR)

همانطوری که در جدول ۴-۱۶ دیده می‌شود در هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن همانند هیدروگراف‌های مثلثی متقارن هنگامی که زمان پایه ثابت می‌باشد با افزایش دبی اوج هیدروگراف میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست و فرسایش بالادست افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن همانند هیدروگراف‌های مثلثی متقارن با افزایش دبی اوج هیدروگراف ورودی، میزان فرسایش بالادست و رسوبات منتقل شده به پایین دست افزایش می‌یابد.

۴-۳-۲- اثر زمان پایه هیدروگراف

هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن در دبی‌های اوج یکسان و زمان پایه‌های متفاوت ۱۵۰ و ۱۸۰ ثانیه و در شیب ۰/۰۰۰۱ از کانال آزمایشگاهی مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل ۴-۱۳ میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست را تحت تاثیر هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن، با دبی اوج یکسان و برابر با ۴۰ لیتر بر ثانیه بر متر، دانه‌بندی یکسان و برابر با ۳/۵ میلی‌متر و زمان پایه متفاوت را نشان می‌دهد.

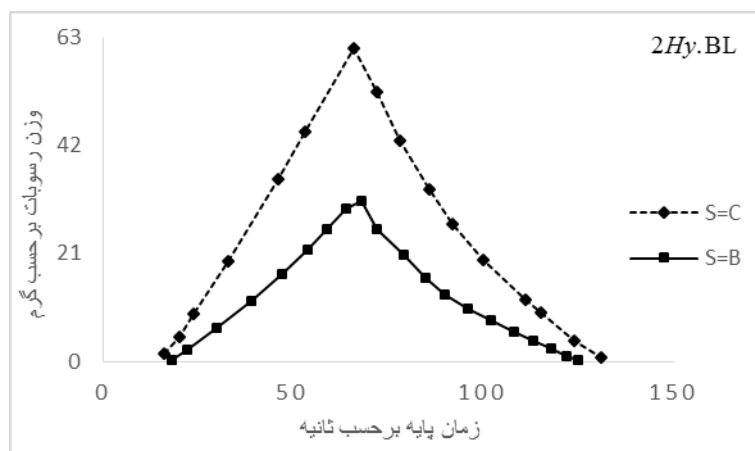


شکل ۴-۱۳- روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست در برابر زمان تحت تاثیر هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن با دبی اوج یکسان و زمان پایه متفاوت

شکل ۴-۱۳ روند تغییر میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست را تحت تاثیر هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن $2Hy.CR$ و $2Hy.BR$ نشان می‌دهد، همانطور که ملاحظه می‌شود در هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن هنگامیکه دبی ثابت باشد با افزایش زمان پایه هیدروگراف میزان اوج سدیگراف و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست افزایش پیدا می‌کند.

۴-۳-۳- اثر قطر ذرات

هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن بر روی بستر متحرک با دو دانه‌بندی متفاوت عبور داده شد و تاثیر دانه‌بندی در میزان انتقال بار کف به پایین دست بررسی شد. هیدروگراف‌های مورد آزمایش شامل هیدروگراف‌های با دبی اوج ۲۷ و ۴۰ لیتر بر ثانیه بر متر و زمان پایه ۱۵۰ و ۱۸۰ ثانیه بودند. شکل ۴-۱۴ میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست را تحت تاثیر هیدروگراف مثلثی نامتقارن $2Hy.BL$ و با دو دانه‌بندی مختلف نشان می‌دهد.



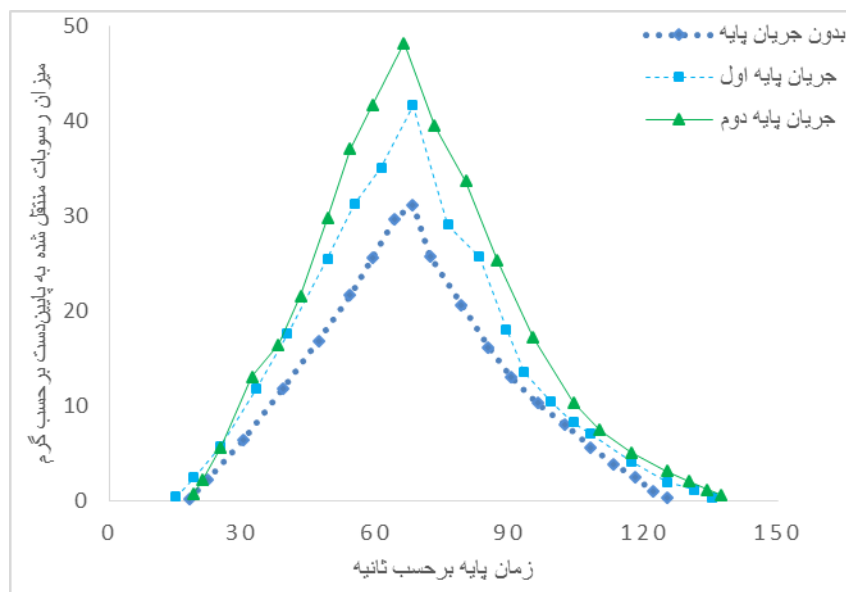
شکل ۴-۱۴- روند تغییرات میزان انتقال رسوبات به پایین دست تحت تاثیر هیدروگراف ورودی $2Hy.BL$ ، با دو دانه بندی متفاوت

شکل ۴-۱۴ میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست را تحت تاثیر هیدروگراف مثلی نامتقارن $2Hy.BL$ با دو دانه بندی $3/5$ و $1/85$ میلی متر نشان می دهد، همانطوری که ملاحظه می شود وقتی که دبی و زمان پایه ثابت باشند با کاهش قطر ذرات رسوبی میزان اوج سدیگراف رسوب و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست نیز افزایش پیدا می کند.

۴-۳-۴- اثر جریان پایه

تاثیر هیدروگراف های مثلی نامتقارن با وجود جریان پایه و بر میزان انتقال رسوبات کف به پایین دست مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصل از آن با آزمایشات حاصل از هیدروگراف های مثلی متقارن مقایسه گردید. شکل ۴-۱۵ تغییرات رسوبات بار کف در مقابل زمان برای هیدروگراف ورودی $2Hy.BL$ با و بدون جریان پایه را نشان می دهد. همانطوری که از روی شکل می توان فهمید در هیدروگراف های مثلی نامتقارن نیز در حالتی که جریان پایه نداریم میزان حداکثر سدیگراف و همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین دست حداقل ممکن است و هنگامی که جریان پایه داریم این

میزان افزایش می‌یابد، هر چه دبی جریان پایه افزایش پیدا کند میزان رسوبات منتقل شده و میزان فرسایش نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۱۵- تغییرات بار کف منتقل شده برای هیدروگراف ورودی $2Hy.BL$ با جریان پایه و بدون جریان پایه

شکل ۴-۱۵ تغییرات بار کف برای هیدروگراف ورودی $2Hy.BL$ ، با جریان پایه و بدون جریان پایه را نشان می‌دهد، همانطور که ملاحظه می‌شود در حالت نبود جریان پایه میزان اوج سدیگراف رسوب کمترین مقدار و در حالت جریان پایه دوم بیشترین مقدار است. جدول ۴-۱۷ مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست را برای هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و نامتقارن، با و بدون جریان پایه هنگامی که دارای دبی اوج و زمان پایه یکسان هستند نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۷- میزان رسوبات منتقل شده به پایین دست برای هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و نامتقارن، با و بدون جریان

پایه

کل رسوبات منتقل شده به پایین دست (gr)			
هیدروگراف ورودی	بدون جریان پایه	جریان پایه اول	جریان پایه دوم
$2Hy.B$	۴۲۳/۴	۵۱۱/۹	۶۳۸/۷
$2Hy.BL$	۲۵۳/۴	۲۹۲/۱	۳۶۲/۷
$2Hy.BR$	۳۰۷/۴	۴۰۵/۷	۴۴۹
$3Hy.B$	۳۵/۵	۶۶/۲	۷۶/۴
$3Hy.BL$	۳۰/۴	۳۶/۹	۴۲/۷
$3Hy.BR$	۳۳/۸	۴۳/۲	۴۸/۳

همانطور که نتایج جدول ۴-۱۷ نشان می‌دهد مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست هنگامیکه جریان پایه نداریم کمترین مقدار است و در حالت جریان پایه دوم مقدار رسوبات بیشتری نسبت به حالت جریان پایه اول منتقل می‌شود.

۴-۴- مقایسه هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن

هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و نامتقارن که دارای دبی اوج و زمان پایه یکسان و برابری هستند با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج حاصل از مقایسه انتقال بار کف به پایین دست برای هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و نامتقارن که دارای دبی اوج و زمان پایه یکسان می‌باشند در جدول ۴-۱۸ نشان داده است.

جدول ۴-۱۸- مقایسه رسوبات منتقل شده به پایین دست در هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و مثلثی نامتقارن

نوع هیدروگراف	هیدروگراف ورودی	کل رسوبات منتقل شده به پایین دست (<i>gr</i>)
مثلثی متقارن	2Hy.B	۴۲۳/۴
مثلثی نامتقارن	2Hy.BL	۲۵۳/۴
	2Hy.BR	۳۰۷/۴
مثلثی متقارن	2Hy.C	۴۴۲/۴
مثلثی نامتقارن	2Hy.CL	۳۴۱/۲
	2Hy.CR	۳۹۵/۱
مثلثی متقارن	3Hy.B	۳۵/۵
مثلثی نامتقارن	3Hy.BL	۳۰/۴
	3Hy.BR	۳۳/۸
مثلثی متقارن	3Hy.C	۵۱/۹
مثلثی نامتقارن	3Hy.CL	۴۱/۹
	3Hy.CR	۴۷/۳

با توجه به جدول ۴-۱۸ می‌توان نتیجه گرفت که برای هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و نامتقارنی که دارای دبی اوج و زمان پایه مشابه می‌باشند، مقدار کل رسوبات منتقل شده به پایین دست برای هیدروگراف‌های مثلثی متقارن همواره بیشتر از مقدار آن برای هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن می‌باشد. بنابراین برای هیدروگراف‌های دارای زمان پایه و دبی اوج برابر، هیدروگراف‌های مثلثی متقارن تاثیر بیشتری در فرسایش بالادست نسبت به هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن دارند. همچنین با مقایسه هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن با یکدیگر دیده می‌شود که همانند هیدروگراف‌های مثلثی متقارن، شاخه صعودی هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن میزان رسوبات بیشتری نسبت به شاخه نزولی حمل می‌کنند.

۴-۵- پارامتر غیرماندگاری^۸

بهترین پارامتری که در جریان غیرماندگار ارتباط مناسبی با میزان رسوب انتقالی نشان می‌دهد عدد غیرماندگاری است. براساس مقدار عدد غیرماندگاری شرایط انتقال رسوب تغییر خواهد کرد. محققین زیادی از جمله سونگ (۱۹۹۴)، گراف و سوزکا (۱۹۸۵)، ین و لی (۱۹۹۵)، سونگ و گراف (۱۹۹۷)، دوسوتر و همکاران (۲۰۰۱)، کو (۲۰۰۳)، لی و همکاران (۲۰۰۴)، بمبار و همکاران (۲۰۱۱) و اسماعیلی (۱۳۹۲) به پارامتر غیرماندگاری اشاره کردند.

گراف و سوزکا (۱۹۸۵)، ین و لی (۱۹۹۵)، سونگ و گراف (۱۹۹۷)، لی و همکاران (۲۰۰۴) و بمبار و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که پارامتر غیرماندگاری جریان (P) و شاخص کل کار جریان (W_k) مهم‌ترین عوامل موثر در انتقال بار کف می‌باشند و دبی رسوب منتقل شده به پایین دست تابعی از این دو پارامتر می‌باشد:

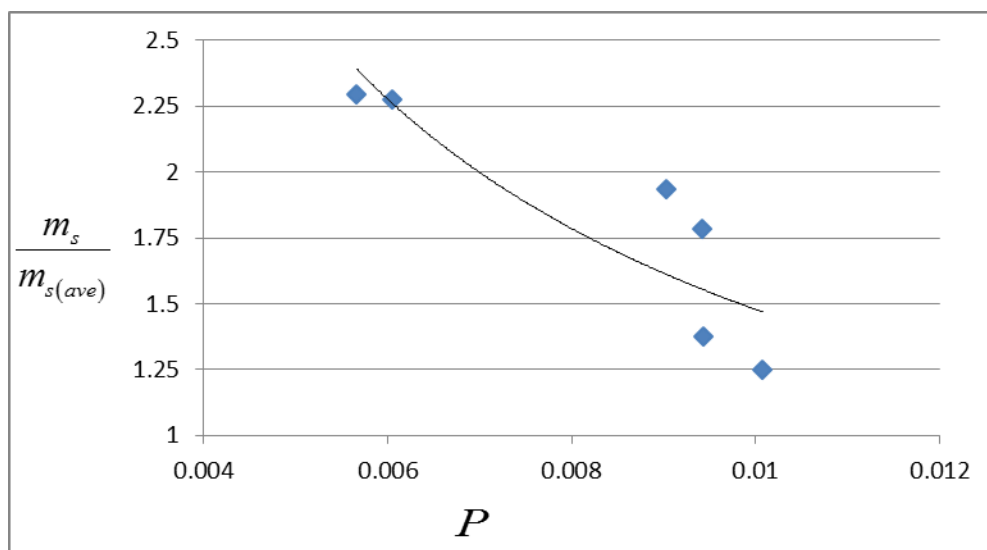
$$q_s = f(W_k, P) \quad (۱-۴)$$

این دو پارامتر با استفاده روابط زیر محاسبه می‌شوند:

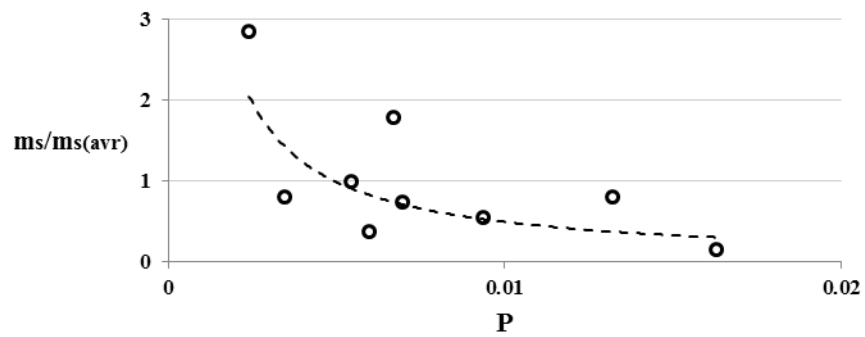
$$W_k = \frac{u_* \cdot v}{g \cdot y^3 \cdot B} \quad (۲-۴)$$

$$P = \frac{y_p - y}{T_d \cdot u_*} \quad (۳-۴)$$

در روابط بالا، u_* سرعت برشی جریان، ν کل حجم آب زیر هیدروگراف، g شتاب ثقل، y عمق جریان، B عرض کانال، T_d زمان پایه هیدروگراف و y_p عمق جریان در نقطه اوج هیدروگراف می‌باشد. همچنین پارامتر P نشان دهنده شیب بازوی هیدروگراف است که در مورد تجزیه و تحلیل مسائل انتقال رسوب در جریان غیرماندگار استفاده می‌شود. با توجه به شکل ۴-۱۶ مشاهده می‌شود که پارامتر غیرماندگاری جریان رابطه‌ای معکوس با تغییرات بارکف داشته بطوریکه با افزایش این پارامتر، مقدار رسوبات منتقل شده به پایین دست کاهش می‌یابد.



شکل ۴-۱۶- تغییرات پارامتر غیرماندگار جریان در مقابل تغییرات بار کف



شکل ۴-۱۷- تغییرات پارامتر غیرماندگاری جریان در مقابل تغییرات بار کف در آزمایش‌های بمبار و همکاران

همانطور که در شکل ۴-۱۷ مشاهده می‌شود نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مشابه با نتایج حاصل از آزمایش‌های بمبار و همکاران می‌باشد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به بررسی آزمایشگاهی میزان انتقال رسوبات بار کف به پایین‌دست در اثر هیدروگراف جریان سیلابی پرداخته است و هیدروگراف‌های استفاده شده در آزمایشات به دو صورت مثلثی متقارن و مثلثی نامتقارن انتخاب شدند. آزمایش‌های آن در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود انجام شد.

۵-۱-۱- هیدروگراف‌های مثلثی متقارن

تعدادی از آزمایشات با هدف بررسی میزان بار کف منتقل شده به پایین‌دست تحت تاثیر هیدروگراف‌های مثلثی متقارن انجام شد. در این سری از آزمایش‌ها تاثیر دبی اوج، زمان پایه، دانه‌بندی ذرات رسوبی و همچنین جریان پایه در میزان انتقال بار کف، بررسی شد. نتایج حاصل از بررسی‌های دبی اوج نشان داد که دبی اوج هیدروگراف ورودی تاثیر زیادی در میزان انتقال بار کف به پایین‌دست و فرسایش بالادست دارد، طوریکه با افزایش دبی از ۱۸ لیتر بر ثانیه بر متر به ۲۷، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه بر متر میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست به طور میانگین به ترتیب ۱/۱، ۲/۶ و ۶ برابر افزایش می‌یابد. همچنین میزان کل رسوبات منتقل شده از بستر رسوبی، در شاخه صعودی سدیگراف بیشتر از شاخه نزولی آن می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که دبی اوج سدیگراف رسوب نسبت به دبی اوج هیدروگراف جریان دارای زمان تاخیری به اندازه ۳ تا ۱۲ درصد زمان پایه هیدروگراف است. وجود جریان پایه نیز در میزان فرسایش و انتقال رسوبات به پایین‌دست موثر است، میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین‌دست موقعیکه دبی جریان پایه ۰/۸۵ لیتر بر ثانیه بر متر است در مقایسه با حالتی که جریان پایه نداریم ۵۴ درصد و موقعیکه دبی جریان پایه ۱/۱ لیتر بر ثانیه بر متر است در مقایسه با حالتی که جریان پایه نداریم ۹۵ درصد افزایش یافت. تاثیر زمان پایه هیدروگراف نیز بر روی میزان انتقال بار کف به پایین‌دست بررسی

شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد هنگامیکه دبی اوج ثابت است با افزایش زمان پایه هیدروگراف میزان فرسایش بالادست و انتقال رسوبات به پایین‌دست افزایش می‌یابد، طوریکه وقتی زمان پایه از ۹۰ ثانیه به ۱۵۰ ثانیه و از ۹۰ ثانیه به ۱۸۰ ثانیه می‌رسد میزان کل رسوبات منتقل شده به پایین‌دست بطور میانگین ۲۳ و ۴۶ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که دبی متوسط رسوب با افزایش زمان پایه کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این قسمت مطابقت خوبی با نتایج حاصل از آزمایشات (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۵) و (آلبویه و همکاران، ۱۳۹۲) دارد. تاثیر دانه‌بندی ذرات رسوبی نیز در انتقال رسوبات بار کف بررسی شد نتایج آزمایشات نشان داد که با کاهش قطر ذرات بستر از ۷ به ۳/۵، ۱/۸۵ و ۰/۸ میلی‌متر میزان رسوبات منتقل شده به پایین‌دست بطور متوسط ۱/۰۹، ۱/۵۷ و ۵/۲۸ برابر افزایش می‌یابد.

۵-۱-۲- هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن

تعدادی از آزمایشات با هدف بررسی میزان بار کف منتقل شده به پایین‌دست تحت تاثیر هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن انجام شد. تاثیر دبی اوج، زمان پایه، جریان پایه و دانه‌بندی ذرات بستر روی هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن مشابه با هیدروگراف‌های مثلثی متقارن می‌باشد، با این تفاوت که در تمامی این حالات رسوباتی که توسط هیدروگراف‌های مثلثی متقارن انتقال یافتند بیشتر از رسوباتی بود که توسط هیدروگراف‌های مثلثی نامتقارن منتقل شدند.

۵-۲- پیشنهادات

۱- از محدوده دانه‌بندی، زمان پایه و دبی جریان وسیع‌تری استفاده شود.

۲- مطالعات میدانی بعنوان بررسی نتایج آزمایشگاهی صورت گیرد.

۳- استفاده از نمونه بردار رسوب با تعداد شبکه‌های جمع کننده رسوب بیشتر به منظور افزایش در تعداد

نقاط منحنی سدیگراف.

منابع

منابع

- آل بویه، ا.، اسماعیلی، ک. و خدشناس، س.ر. "مقایسه اثر الگوی جریان ورودی و شیب آبراهه بر انتقال رسوب بستر در شرایط آزمایشگاهی" (۱۳۹۳). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۸، شماره دو، خرداد-تیر، ص. ۲۸۶-۲۹۵.
- آل بویه، ا.، اسماعیلی، ک.، کاظمی، ف. ۱۳۹۲. جریان غرماندگار و تاثیر آن بر انتقال بار بستربه پایین- دست. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی ۷ و ۸ آبان ۱۳۹۲.
- آل بویه، ا. مطالعه آزمایشگاهی انتقال بار کف در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۲.
- اسماعیلی، ک.، شفاعی بجستانی، م.، کاشفی پور، س.م. ۱۳۸۵. انتقال بارکف تحت شرایط جریان غیرماندگار. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- اسماعیلی، ک.، شفاعی بجستانی، م.، کاشفی پور، س.م. ۱۳۸۶. بررسی آزمایشگاهی عوامل موثر بر انتقال رسوب در شرایط سیلاب طغیانی. مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال اول. شماره ۲، ص. ۱۱-۳.
- اسماعیلی، ک. ۱۳۹۲. تاثیر پارامتر غیرماندگاری بر انتقال رسوب در جریان سیلابی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۸، فروردین-اردیبهشت ۱۳۹۳. ص. ۲۶-۳۴.
- جلالیان، ا.، ۱۳۷۳. فرسایش و رسوب و علل آن در حوضه‌های آبخیز کشور و ارائه نتایج موردی در بعضی از حوضه‌های آبخیز ایران، خلاصه مقالات چهارمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- حسینی، س.م.، و ابریشمی، ج. ۱۳۸۷. هیدرولیک کانال‌های روباز. چاپ هجدهم انتشارات آستان قدس.

زیرک جوانمرد، ک. ۱۳۷۴. بررسی بار کف در رودخانه الوند با استفاده از نمونه بردار گودالی مجهز به سیستم تخلیه. مجموعه مقالات اولین همایش فرسایش و رسوب. شهریور ماه. شهر نور.

شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس. ۱۳۸۱. سیستم‌های خودکار هشدار سیل محلی. مرجع شماره ۲ هیدرولوژی سازمان ملی هواشناسی. فوریه ۱۹۹۷. تهران.

شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۷. مبانی نظری و عملی هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز.

کاشفی پور، س.م.، شفاعی بجستانی، م.، و اسماعیلی، ک. ۱۳۸۸. بررسی روند انتقال بارکف در رودخانه فصلی ناشی از سیلاب ناگهانی. گزارش نهایی پروژه. سازمان آب و برق خوزستان.

غلامی شهربابک، ه.، و رضازاتی، ا. ۱۳۷۶. نمونه برداری و پردازش داده‌های رسوب. سمینار کارشناسی ارشد. دانشکده عمران. دانشگاه صنعتی امیر کبیر. تهران.

میرباقری، س.ا.، ۱۳۶۸. مطالعات تکنیکی در برآورد رسوبات حوزه آبریز. مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران، دانشگاه تهران، دانشکده فنی: ۶۵۲-۶۶۸.

Billi, P. 2008. Bedforms and sediment transport processes in the ephemeral streams of kobo basin, northern ethiopia. *Catena*, Vol. 75, No. 1, pp. 5-17.

Billi, P. 2011. Flash flood sediment transport in a steep sand-bed ephemeral stream. *International Journal of Sediment Research* No. 26: 193-209.

Bombar, G., Elci, S., Tayfur, G., Guney, S., and Bor, A. 2011. Experimental and numerical Investigation of Bed-Load Transport under Unsteady Flows. *Journal of hydraulic engineering ASCE/ OCTOBER*, 2011, 137:1276-1282.

Carpat, H. and Yong, D.L. 1998. Formation of a jump by the dam-break wave over a granular bed. *J. of Fluid Mechanics* 372: 165-187.

Cohen, Hai., and Jonathan B. Laronne 2005. High rates of sediment transport by flash floods in the southern Judean desert, Israel. *Hydrological Processes* 19, 1687-1702.

De Sutter, R., Verhoeven, R. 2001. Simulation of sediment transport during flood events: Laboratory work and field experiments. *Hydrology Science Journal*. 46(4), 599-610.

Graf, W.H., Suszka, L. 1985. Unsteady flow and its effect on sediment transport. Proceeding, 21 st IAHR Congress. August 1985. Melbourne. Australia; 540-544.

Griffiths, G., Sutherland, A. 1997. Bedload transport by translation waves. *J Hydraul Div* 103(11):1279-1291.

Hassan, M. A., Egozi, R., and Parker, G. 2006. Experiments on the effect of hydrograph characteristics on vertical grain sorting in gravel bed rivers. *Water Resource. Res.*, 42(9), 1-15.

Kuhnle, R. A. 1992. Bed load transport during rising and falling stages on two small streams. *Earth surface processes and landforms*, 17(2), 191-197.

Karimae Tabarestani, M. and Zarrati, A. (2015). "Sediment transport during flood event: a review." *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10.1007/s13762-014-0689-6, 775-788.

Leal, j.G.A.B., Ferreira, R.M.L., Cardoso, A.H. and Almedia, A.B. 2003. Comparison between numerical and experimental results on Dam-Break waves over Dry Mobile Beds. *J. River flow*.

Lee, K.T., Lui, Y.L., and Cheng, K.H. 2004. Experimental investigation of bed load transport processes under unsteady flow condition, *Hydrological processes*, 18, pp. 2439-2454.

Matteo, T., Andrea, M., and Stephen, C. 2008. Scouring at bed sills as a response to flash flood. Vol.135, No.6, June 1, 2009.

Mao, L. 2012. The effect of hydrographs on bed-load transport and bed sediment spatial arrangement. *Journal of Geophysical Reseach*, VOL. 117, F03024, doi: 10.1029/2012 JF002428.

Pathirana kpp, Ranasinghe-PC, Ratnayake UR 2006. Bed shear stress in unsteady open channel flow over rough beds. *J Inst Eng sri Lanka* 414(1): 7-12.

- Qu, Z. 2002. Unsteady open channel flow over a mobile bed. PhD thesis. Ecole polytechnique federale de Lausanne.
- Reid, I., Frostick, L.E. and Layman, J.T. 1985. The incidence and nature of bed-load transport during flood flows in coarse-grained alluvial channels. *Earth Surface. Processes Landforms*. 10: 33-44.
- Reid, I., Laronne, J.B., and Powell, M. 1998. Prediction of bed-load transport by desert flash floods. *Journal of Hydraulic Engineering*. vol.122, no 3.
- Song, T., Graf, W.H. 1996. Velocity and turbulence distribution in unsteady open-channel flow. *J Hydrol Eng*. 122(3): 141-154.
- Song, T., and Graf, W.H. 1997. Experimental study of bed-load transport in unsteady open-channel flow. *International Journal of Sediment research* 12(3): 63-71.
- Scott, S.H. 2006. Predicting sediment transport dynamics in ephemeral channels: a review of literature. ERDC/CHL CHETN-VII-6. US Army Corps of Engineers.
- Spinewine, Z.Y. 2003. Dam break waves over movable beds. Dept. Civ. And Env. Engrg, Universite Catholique de Louvain, Belgium.
- Suszka, L. 1987. Sediment transport at steady and unsteady flow; a laboratory study. PhD thesis. Ecole polytechnique federale de Lausanne.
- Wang, Z., Kron, W., Plate, E.J. 1994. An experimental study of bed deformation in unsteady and non-uniform flows. *International journal of sediment research* 9: 206-215.
- Wang, L., Cuthbertson, A., Pender, G., and Cao, Z. 2013. Experimental investigation on temporal lag effect of graded sediment transport in unsteady flows. *Proceedings of 2013 IAHR Congress*.
- Wang, L., Cuthbertson, A., Pender, G., and Cao, Z. 2014. The response of bed-load sediment transport and bed evolution under unsteady hydrograph flows. *Institute of Infrastructure and Environment, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK*. 1-9.

Wang, L., Cuthbertson, A., Pender, G., and Cao, Z. (2015). "Experimental investigations of graded sediment transport under unsteady flow hydrographs." *International Journal of Sediment Research*, 10.1016/j.ijsrc.2015.03.010, 306-320.

Yen, C.L., Chang, S.Y, and Lee, H.Y. 1992. Aggradation degradation process in alluvial channels. *Journal of Hydraulic Engineering*. 118: 1651-1669.

Yen, C.L., Lee, K.T. 1995. Bed topography and sediment sorting in channel bend with unsteady flow. *Journal of hydraulic engineering*. American society of civil engineers 121(8): 591-599.

Zhixan, C., G. p. Wallis, and Carling, p. 2004. Sediment yield from watershed as functions of spatials scale. *Environmental Modeling and Software* 12: 355-369.

Abstract

Flash floods are short-term events and have a peak flow which was caused by heavy rainfall and usually occur in small basin and just overflows from the edges of rivers and streams and washed and destroys all barriers on this way. The purpose of this study is experimental investigation of bed-load sediments transported by flood flow hydrograph. This research includes a series of flow hydrographs in different shapes(triangular, symmetric triangular and asymmetric triangular) and contains different base time and peak flow. Four grading of sediment with $D_{50} = 7mm$, $D_{50} = 3.5mm$, $D_{50} = 1.85mm$, and $D_{50} = 0.8mm$ are used. Existence or lack of the base flow on amount of transported bed load also checked by input flow hydrographs. The results show that with increasing discharge of $18 \frac{lit}{s.m}$ to 27, 40 and $50 \frac{lit}{s.m}$ the amount of sediment transported to downstream, respectively 110, 260 and 600% increases and also a temporal lag was found between the flow hydrographs peak and the sediment hydrograph peak about equal to 3-12% of flow hydrograph duration. Also existence of base flow in the erosion and sediment transport to downstream is efficient and by increasing the base flow the amount of sediment transported to downstream with symmetric triangle hydrographs more than asymmetric triangle hydrograph when base time peak flow is equal.

Keywords: flash flood, unsteady flow, base flow, bed-load sediments, sediment transport, symmetric and asymmetric triangle hydrograph.



Shahrood University of Technology

**Faculty of Agriculture engineering
Department of Water and Soil**

M.Sc. Thesis

**Title of thesis: experimental investigation of bed-load sediments
transported by flood flow hydrograph**

Seied Tahereh Mirdal Divshali

Supervisors:

Dr. KH. Azhdari

Dr. S. Emamgholizadeh

Advisors:

Dr. R. Moazenzadeh

Msc. A. Alebooyeh

February 2016

