



دانشگاه گورگان
سازمان منابع طبیعی گورگان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد شانزدهم، شماره سوم، ۱۳۸۸

www.gau.ac.ir/journals

مطالعه آزمایشگاهی آبستگی موضعی اطراف سری آبشکن‌های L شکل

* امیراحمد دهقانی^۱، محسن برزعلی^۲، رامین فضل‌اولی^۳ و میرخالق ضیاء تباراحمدی^۴
استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب،
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۸۷/۴/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۹/۲۵

چکیده

آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که با هدف انحراف جریان از ساحل فرسایش‌پذیر رودخانه، ایجاد مسیر مناسب برای هدایت جریان، کنترل سیلاب، برقراری عمق لازم برای اهداف کشتیرانی، حفاظت دیواره خارجی قوس‌ها و طرح‌های اصلاح مسیر رودخانه، مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله مسائل مهم در طراحی آبشکن‌ها، پدیده آبستگی موضعی دماغه آن‌ها می‌باشد، که به علت تنگ‌شدگی مقطع جریان و وجود جریان‌های گردابی‌های قوی به وجود می‌آید. در صورتی که این عمق به درستی برآورد نشود می‌تواند منجر به تخریب سازه آبشکن گردد. مروری بر پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌های قبلی بر روی آبشکن‌های تیغه‌ای استوار بوده و پژوهش‌های کمی بر روی آبشکن‌های L شکل صورت گرفته است. با توجه به این که در عمل از سری آبشکن‌ها برای تثبیت یک ناحیه فرسایش‌پذیر در رودخانه استفاده می‌شود، بنابراین در این پژوهش مطالعه بر روی سری آبشکن‌های L شکل (۳ آبشکن) انجام شده است. در این پژوهش با انجام مطالعه‌های آزمایشگاهی در شرایط آب زلال، آزمایش‌هایی با ۳ نوع دانه‌بندی مختلف، ۴ فاصله بین آبشکن و در ۳ دبی مختلف انجام گرفته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که حداکثر عمق آبستگی اطراف آبشکن اول اتفاق

* مسئول مکاتبه: a.dehghani@gau.ac.ir

می‌افتد و هرچه قطر متوسط ذرات بستر افزایش یابد، میزان حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. هم‌چنین در یک دانه‌بندی مشخص، با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی روند کاهشی دارد و این روند کاهشی با افزایش عدد فرود محسوس‌تر است.

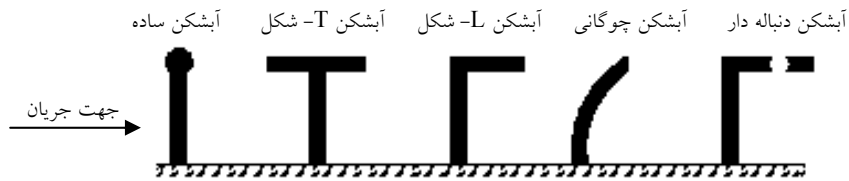
واژه‌های کلیدی: سری آبشکن L شکل، آبشستگی، آب زلال، فاصله بین آبشکن‌ها، دانه‌بندی

مقدمه

آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که با هدف انحراف جریان از ساحل فرسایش‌پذیر رودخانه و یا ایجاد مسیر مناسب برای هدایت جریان و کنترل سیلاب و در واقع برقراری عمق لازم برای اهداف کشتیرانی احداث می‌گردند (پرزدوجسکی، ۱۹۹۵). این گونه سازه‌ها با تغییر الگوی جریان، زمینه مساعدی را برای رسوب‌گذاری بین آبشکن‌ها فراهم می‌کنند. آبشکن‌ها برحسب مورد، شرایط رودخانه‌ای و اهداف مورد نظر در شکل‌ها و انواع مختلف طراحی و احداث می‌گردند. سازه‌های آبشکن هرچند با اهداف رسوب‌گذاری و جلوگیری از فرسایش کناره‌ها و حواشی رودخانه و تثبیت موقعیت رودخانه احداث می‌گردند، در عین حال خود تحت تأثیر پدیده فرسایش ناشی از تمرکز جریان به‌خصوص در قسمت دماغه می‌باشند. در قسمت دماغه، افزایش موضعی سرعت جریان ناشی از تنگ‌شدگی مقطع و وقوع جریان چرخشی پایین رونده منجر به تشکیل حفره آبشستگی می‌شود که پیشرفت آن استحکام سازه را به مخاطره می‌اندازد.

احداث سازه‌هایی نظیر آبشکن در مسیر جریان، باعث ایجاد جریان آشفته‌ی چرخشی و گردابی در اطراف آن خواهد شد. این جریان‌های گردابی به‌همراه تمرکز شدید سرعت‌ها و آشفته‌گی در دماغه بالادست، مکانیزم اصلی آبشستگی موضعی به حساب می‌آیند. ترکیب این عوامل منجر به برداشته شدن مواد بستر از حوالی تکیه‌گاه و توسعه یک حفره آبشستگی شده که در درازمدت باعث ایجاد حفره‌های بزرگ در محل نوک آبشکن شده و احتمال شکست سازه را به دنبال خواهد داشت (شفاعی بیجستان، ۲۰۰۵).

گرچه تاکنون در اغلب موارد از آبشکن‌های تیغه‌ای استفاده شده است ولی با این حال آبشکن‌ها با شکل‌های مختلف دماغه نیز کاربردهایی داشته‌اند. از جمله این گروه آبشکن‌ها می‌توان به آبشکن‌های تیغه‌ای، سرسپری، سرکج (L شکل) و... اشاره کرد (شکل ۱).



شکل ۱- تقسیم بندی آبشکن ها از نظر شکل هندسی (سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۲۰۰۲).

یکی از شاخص های مهم در تعیین مشخصات حفره آبستگي، حداکثر عمق آبستگي می باشد. عمده پژوهش های گذشته بر روی آبشکن های تیغه ای انجام گرفته است. در زیر به برخی از مهم ترین پژوهش ها صورت گرفته بر روی انواع آبشکن ها اشاره شده است:

گاردی و همکاران (۱۹۶۱) آزمایش هایی بر روی ۴ اندازه آبشکن با نسبت انقباض ۰/۹، ۰/۸۳۵، ۰/۶۶۷ و ۰/۵۳ در یک کانال با عرض ۰/۶۱ متر انجام داد. این پژوهشگر هم چنین از رسوباتی با ۴ اندازه قطر متوسط ۰/۳، ۰/۴۶، ۱ و ۲/۳ میلی متر استفاده کرد. براساس یافته های گاردی، عدد فرود پارامتر بسیار مهمی در آبستگي اطراف تنگ شدگی ها می باشد همچنین اندازه ذرات بستر هم در سرعت آبستگي و هم در حداکثر عمق آبستگي مؤثر است. این پژوهشگر همچنین رابطه ای برای تعیین عمق حداکثر آبستگي ارائه داده است. براساس یافته های این پژوهشگر حداکثر عمق آبستگي تابعی از نسبت باز شدگی، عمق جریان، زاویه آبشکن با کانال، عدد فرود جریان و ضریب رانش رسوبات بستر می باشد.

ملویل (۱۹۹۲) نیز رابطه ای تجربی برای پیش بینی حداکثر عمق فرسایش موضعی در آبشکن ها ارائه نمود. این پژوهشگر حداکثر عمق آبستگي را به طول آبشکن مربوط کرده است. لیم و چيو (۱۹۹۷) با در نظر گرفتن تاثیر دانه بندی ذرات رسوب بستر، رابطه ای برای محاسبه عمق آبستگي حداکثر ارائه نمودند. در رابطه پیشنهادی ایشان عدد بی بعد فرود ذره، جزو پارامترهای مؤثر می باشد. سلیمان و همکاران (۱۹۹۷) تاثیر آبشکن ها را بر مورفولوژی رودخانه نیل بررسی نمود و نتیجه گرفت که حداکثر اغتشاش در جهت طولی در پشت آبشکن غیر مستغرق، در فاصله حدود ۶ برابر طول آبشکن در آبشکن باز ۲ ردیفه و حدود ۸ برابر طول آبشکن متخلخل می باشد. هم چنین جدایی جریان در دماغه اولین آبشکن اتفاق افتاده و حالت گردابی جریان تنها در اطراف آبشکن هایی که طولشان بزرگ تر از ۱۸ درصد عرض کانال باشد، اتفاق می افتد. کوهنل و همکاران (۱۹۹۹) با انجام آزمایش هایی دریافتند که نسبت

تنگ‌شدگی و عمق جریان رابطه قطعی با حجم گودال آبستگي اطراف آبشکن دارند. همچنین برای ۳ زاویه آبشکن و ۲ نسبت تنگ‌شدگی که مورد آزمایش قرار گرفت، زاویه ۱۳۵ درجه کمترین، ۹۰ درجه متوسط و ۴۵ درجه حداکثر آبستگي را در نزدیکی ساحل کانال دارا می‌باشد.

در ایران نیز محققان بسیاری بر روی آبستگي اطراف آبشکن مطالعاتی انجام داده‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود. فتحی (۱۹۹۲) با استفاده از فلوم آزمایشگاهی با طول ۱۵ متر و عرض و عمق ۶۰ سانتی‌متر با کف و دیواره بتنی به انجام آزمایش‌هایی به‌منظور بررسی اثر نسبت بدون بعد S/L (فاصله دو آبشکن به طول آبشکن) بر روی عمق آبستگي پرداخت. براساس آزمایش‌های این پژوهشگر اگر این نسبت کمتر از ۲ باشد جریان‌های ثانویه تشکیل نشده و رسوب‌گذاری بین دو آبشکن به‌ندرت صورت می‌گیرد و در صورتی که این نسبت بیش از ۴ باشد جریان بین دو آبشکن باعث افزایش فرسایش موضعی دماغه آبشکن و کاهش میزان رسوب‌گذاری می‌شود و فرسایش ساحل کناری بیشتر می‌شود. پیشنهاد این پژوهشگر برای این نسبت بین ۲ تا ۴ می‌باشد که باعث افزایش رسوب‌گذاری و کاهش فرسایش موضعی می‌شود. شریفی‌منش (۱۹۹۵) نیز با استفاده از مدل آزمایشگاهی به انجام آزمایش‌هایی به‌منظور مطالعه حداکثر عمق آبستگي اطراف آبشکن پرداخت. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که در آبشکن بسته حفره آبستگي اطراف دماغه آبشکن می‌باشد در حالی که در آبشکن باز آبستگي در سرتاسر آبشکن اتفاق می‌افتد. ساجدی سابق و همکاران (۱۹۹۵) تاثیرات تغییر زاویه قرارگیری آبشکن را در رودخانه‌ها با مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند. آزمایش‌ها با سه زاویه قرارگیری ۳۰ درجه به سمت پایین‌دست، ۱۰ درجه با سمت بالادست و عمود بر ساحل انجام شد. در آبشکن‌های متمایل به پایین‌دست حفره آبستگي در مقایسه با آبشکن‌هایی که به طرف بالادست متمایلند به ساحل رودخانه نزدیک‌تر است. هم‌چنین نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که به‌طور کلی مقدار آبستگي با متمایل کردن آبشکن به طرف پایین‌دست کاهش می‌یابد. زاویه ۳۰ درجه به طرف پایین‌دست در بیشتر موارد کمترین مقدار آبستگي را نسبت به طرح‌های دیگر به‌وجود آورده است. قدسیان و حسینی (۲۰۰۱) با استفاده از فلوم آزمایشگاهی با طول ۱۲ متر و عرض ۲ متر و عمق ۶۰ سانتی‌متر به بررسی خصوصیات چاله فرسایش اطراف آبشکن پرداختند و رابطه‌هایی برای تخمین حداکثر عمق آبستگي، میزان گسترش آبستگي به سمت بالادست، در جهت پایین‌دست و در جهت محور آبشکن ارائه دادند. اردشیر و همکاران (۲۰۰۵) در یک فلوم آزمایشگاهی با بستر متحرک با طول ۲۵ متر، عرض ۱/۳ متر و عمق ۰/۸ متر آزمایش‌هایی

انجام دادند. هدف این محققان بررسی تأثیر طول و زاویه آبشکن فرعی بر آبشستگی آبشکن اول بوده است. تعداد ۴ آبشکن اصلی با فاصله مساوی ۲ برابر طول آبشکن اول و عمود بر دیواره استفاده شد و آبشکن فرعی به شکل زاویه‌دار در بالادست آبشکن اول استفاده شد. پس از بررسی داده‌های آزمایشگاهی مناسب‌ترین طول برای آبشکن فرعی ۰/۶۶ تا ۰/۷۷ طول آبشکن اول می‌باشد. همچنین با توجه به این‌که آبشکن اول باعث انحراف جریان به سمت دیواره روبرو می‌شود، همواره کم‌ترین مقدار آبشستگی مربوط به آبشکن دوم می‌باشد.

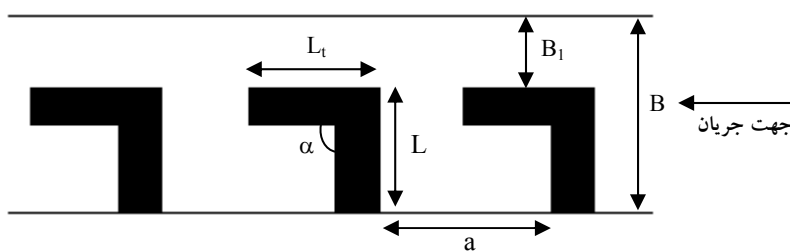
کرمی (۲۰۰۵) آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۲۵ متر، عرض ۱/۵ متر و عمق ۰/۵ متر انجام داد تا به بررسی تأثیر آبشکن محافظ که به صورت عمود بر جریان در بالادست اولین آبشکن قرار می‌گیرد بر روی آبشستگی اولین آبشکن بپردازد. براساس این پژوهش، با افزایش نسبت طول آبشکن فرعی به آبشکن اول میزان آبشستگی آبشکن اول کاهش می‌یابد. همچنین طول مناسب برای آبشکن فرعی ۰/۵ تا ۰/۵۸ طول آبشکن اول و فاصله مناسب بین آبشکن اول و آبشکن فرعی برابر ۱/۵ تا ۲ برابر طول آبشکن اول توصیه شده است. صانعی (۲۰۰۶) به انجام مطالعاتی به منظور بررسی تأثیر درصد انسداد در آبشستگی اطراف آبشکن‌ها پرداخت. براساس نتایج آزمایشگاهی با افزایش عدد فرود جریان و به عبارتی دیگر کاهش عمق جریان در دبی ثابت میزان آبشستگی در دماغه آبشکن کاهش می‌یابد. همچنین هر قدر طول آبشکن بلندتر و درصد انسداد بیشتر باشد، میزان آبشستگی نیز افزایش می‌یابد و با افزایش عمق جریان نیز در دبی ثابت میزان آبشستگی کاهش می‌یابد. کرمی و همکاران (۲۰۰۶) با انجام یک سری آزمایش در فلوم آزمایشگاهی به بررسی اثر زمان آبشستگی بر آبشستگی موضعی دماغه آبشکن به ازای دبی‌های مختلف و دو نوع دانه‌بندی مصالح بستر پرداخت. نتایج آزمایش‌ها با کارهای قبلی انجام شده توسط محققان مختلف مقایسه شد و با اندازه‌گیری زمان، عمق آبشستگی و تحلیل داده‌های آزمایشگاهی، رابطه‌ای در این زمینه ارائه گردید که همخوانی خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. هاشمی‌نجفی (۲۰۰۸) آزمایش‌هایی را بر روی اثر زاویه بر روی آبشستگی آبشکن L- شکل انجام داد. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن L- شکل با زبانه به سمت بالادست از آبشکن تیغه‌ای کمتر است، همچنین چنانچه از آبشکن L- شکل با زبانه به سمت بالادست استفاده شود، زاویه ۶۰ درجه منجر به حداقل عمق آبشستگی شده و این زاویه برای آبشکن L- شکل با زبانه به سمت پایین دست ۱۱۰ درجه می‌باشد در این پژوهش، با انجام مطالعات

آزمایشگاهی بر روی سری آبشکن‌ها در مسیر مستقیم، حداکثر عمق آبشستگی برای فاصله‌های مختلف آبشکن، در شرایط مختلف هیدرولیکی و اندازه ذرات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی: پارامترهای متعددی در عملکرد آبشکن‌ها برای حفاظت سواحل و آبشستگی اطراف دماغه آن‌ها مؤثر می‌باشند. تعدادی از این عوامل تأثیر کمتری داشته و تعدادی نیز به اندازه کافی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. به منظور یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر آبشستگی در دماغه سری آبشکن‌های L- شکل، آنالیز ابعادی روی پارامترهای مؤثر انجام شده است. عوامل مؤثر در این زمینه عبارتند از:

- ۱- عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض کانال (B) و عرض کانال در مقطع آبشکن (B_1).
- ۲- عوامل مربوط به هندسه آبشکن: طول آبشکن (L)، طول زبانه آبشکن (L_t)، زاویه زبانه آبشکن با محور آبشکن (θ) و فاصله بین آبشکن‌ها (a).
- ۳- عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: سرعت متوسط جریان در مقطع قبل از آبشکن (U)، عمق جریان (h)، عمق آبشستگی در دماغه آبشکن (h_s)، شتاب ثقل (g).
- ۴- عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر: قطر متوسط (d_{50})، چگالی ذرات (ρ_s)، سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر (U_c).
- ۵- عوامل مربوط به خواص سیال: جرم مخصوص سیال (ρ)، لزجت دینامیکی (μ).



شکل ۲- پارامترهای هندسی در آبشکن‌های L- شکل.

با انتخاب h_s به عنوان متغیر وابسته، رابطه زیر به دست می‌آید.

$$h_s = f_1(\mu, \rho, \theta, \rho_s, a, B_1, B, h, U, U_c, d_{50}, g, L, L_t) \quad (1)$$

با استفاده از روش π -باکینگهام و انتخاب ρ, ν, h به عنوان پارامترهای تکراری، رابطه میان پارامترهای بی‌بعد، به صورت رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$\frac{h_s}{h} = f_2\left(\frac{a}{h}, \frac{B_1}{h}, \frac{B}{h}, \frac{L_t}{h}, \frac{L}{h}, \theta, \frac{U_c}{U}, \frac{d_{50}}{h}, \frac{\mu}{\rho \nu h}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{gh}{U^2}\right) \quad (2)$$

با توجه به اعداد بدون بعد حاصل شده، چنانچه عدد بدون بعد $\frac{L_t}{h}$ بر $\frac{L}{h}$ تقسیم شود، عدد بدون بعد $\frac{L_t}{L}$ حاصل می‌شود. همچنین با تقسیم پارامتر $\frac{B_1}{h}$ بر $\frac{B}{h}$ عبارت $\frac{B_1}{B}$ و با تقسیم پارامتر $\frac{a}{h}$ بر $\frac{L}{h}$ عبارت $\frac{a}{L}$ حاصل می‌شود. همچنین از معکوس نمودن $\frac{\mu}{\rho \nu h}$ و $\frac{gh}{U^2}$ ، عدد بی‌بعد رینولدز و فرود حاصل می‌شود. با جای‌گذاری پارامترهای به دست آمده، رابطه زیر به دست می‌آید:

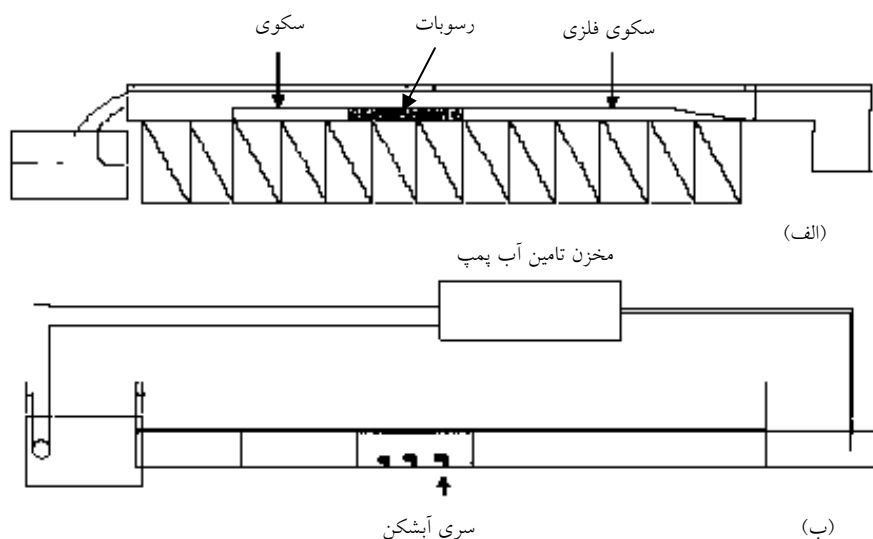
$$\frac{h_s}{h} = f_3\left(\frac{a}{L}, Re, \frac{B_1}{B}, \frac{L_t}{L}, \frac{U}{U_c}, \theta, Fr, \frac{d_{50}}{h}, \frac{\rho_s}{\rho}\right) \quad (3)$$

با توجه به این که شرایط آب زلال (یعنی شرایطی که در آن سرعت جریان از سرعت لازم برای آغاز حرکت رسوبات کمتر است) در آزمایش‌ها برقرار است و این نسبت برای تمام آزمایش‌ها $0.95 < \frac{U}{U_c}$ فرض شده است، این پارامتر از بین اعداد بی‌بعد کنار گذاشته می‌شود. همچنین با توجه به این که ابعاد آبشکن‌ها و زاویه بین دماغه آبشکن‌ها نسبت به طول آبشکن، ثابت (۹۰ درجه) در نظر گرفته شده و همچنین نسبت $\frac{L_t}{L}$ برای تمام آزمایش‌ها ثابت می‌باشد، در نتیجه پارامترهای بی‌بعد $\frac{L_t}{L}$ و $\frac{B_1}{B}$ نیز از بین عوامل بی‌بعد کنار گذاشته می‌شوند. همچنین با توجه به این که نوع مصالح مورد استفاده ماسه است، بنابراین نسبت بی‌بعد $\frac{\rho_s}{\rho}$ نیز ثابت است. بنابراین با کنار گذاشتن عوامل ثابت، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{h_s}{h} = f_4\left(\frac{a}{L}, Re, Fr, \frac{d_{50}}{h}\right) \quad (4)$$

در رابطه بالا همچنین با توجه به آشفتگی جریان (مقدار عدد رینولدز در بازه ۴۷۰۰۰-۲۰۰۰۰ قرار دارد) می‌توان از اثر عدد رینولدز نیز صرف‌نظر نمود.

تجهیزات آزمایشگاهی و نحوه انجام آزمایش‌ها: آزمایش‌ها در فلوم آزمایشگاهی گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با طول ۱۰/۸ متر، عرض و عمق ۰/۶ متر انجام شده است. در انجام آزمایش‌ها، شیب بستر ثابت و برابر ۰/۰۰۱ در نظر گرفته شده است. مصالح بستر با دانه‌بندی یکنواخت و با قطر متوسط ۱/۰۵، ۱/۷ و ۲/۷۵ میلی‌متر و انحراف هندسی ۱/۳۵، ۱/۱۹ و ۱/۲۸ انتخاب گردید. اندازه‌گیری عمق نیز با استفاده از ترازسنج دیجیتال^۱ با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر انجام شده است. آبشکن مورد استفاده در این پژوهش نفوذناپذیر، غیرمستغرق و متعامد از جنس پلکسی‌گلاس بود. عمق جریان در پایین دست نیز توسط دریچه‌ای در انتهای فلوم و یک سرریز لبه تیز استاندارد تنظیم شد (شکل ۳). آزمایش‌ها در یک بازه ۲/۵ متری بین دو سکوی فلزی که از رسوبات پوشیده شده بود، انجام شد. فاصله محل مورد نظر تا ابتدای کانال ۵/۵۰ متر در نظر گرفته شد تا اغتشاش محتمل در ورودی به محل آبشکن نرسد. سپس به ازای شرایط مختلف دبی، دانه‌بندی‌های مختلف و فاصله بین آبشکن‌ها در حالت آب زلال آزمایش‌ها انجام گردیده و پس از شرایط تعادل نسبی، مقادیر عمق آبشستگی در اطراف سری آبشکن‌ها اندازه‌گیری شد.



شکل ۳- فلوم آزمایشگاهی، الف) مقطع طولی کانال، ب) پلان.

1. Digital Point Gauge

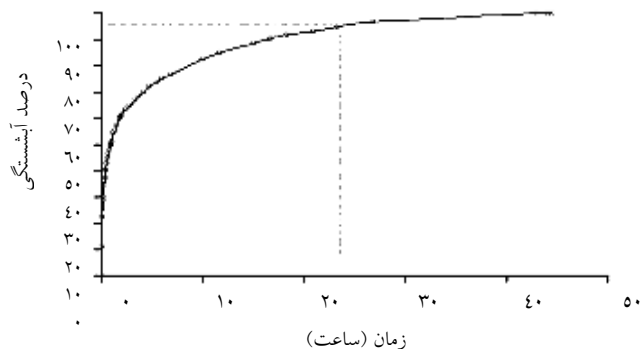
به منظور فراهم آوردن شرایط آب زلال برای آزمایش‌ها، ابتدا آزمایش‌هایی برای تعیین سرعت بحرانی (UC) رسوبات بستر ترتیب داده شد، به این ترتیب که به ازای دبی‌های مختلف، عمق جریان با دریچه انتهایی تغییر داده شد و عمقی که در آن لرزش و حرکت جزئی دانه‌های رسوب مشاهده شد، برداشت گردیده و از روی آن سرعت بحرانی محاسبه شد. جدول (۱) دربردارنده نتایج این آزمایش‌ها می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات آزمایش‌های مربوط به سرعت بحرانی (UC).

شماره	نوع دانه‌بندی	دبی (لیتر بر ثانیه)	عمق جریان (متر)	سرعت آستانه حرکت (متر بر ثانیه)
۱	درشت	۱۵	۰/۰۷۳	۰/۳۳
۲	درشت	۲۹	۰/۱۱۸	۰/۳۹۶
۳	درشت	۴۰	۰/۱۵۷	۰/۴۱
۴	متوسط	۱۵	۰/۰۸	۰/۳۰۲
۵	متوسط	۲۹	۰/۱۳۱	۰/۳۵۶
۶	متوسط	۴۰	۰/۱۷۶	۰/۳۶۶
۷	ریز دانه	۱۵	۰/۰۹۱	۰/۲۶۴
۸	ریز دانه	۲۹	۰/۱۵	۰/۳۱۱
۹	ریز دانه	۴۰	۰/۲	۰/۳۲۲

به منظور درستی مقادیر اندازه‌گیری شده، از روش GKY نیز که ترکیبی از رابطه‌های شیلدز، مانینگ و بلودگت می‌باشد، استفاده گردید (کرنی و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج نشان می‌دهد که مقادیر به‌دست آمده از روش GKY با مقادیر به‌دست آمده از آزمایش‌ها تطابق خوبی را نشان می‌دهد.

به منظور یافتن زمان تعادل نسبی نیز آزمایش‌های جداگانه‌ای انجام پذیرفت. نحوه انجام این آزمایش‌ها به این صورت بود که یک آزمایش با زمان طولانی (۴۴ ساعت) انجام و مقادیر عمق آبهستگی در زمان‌های مختلف ثبت گردیده و سپس از روی منحنی ترسیم شده، زمان تعادل نسبی محاسبه می‌شود. اندازه‌گیری عمق در این آزمایش‌ها از طریق مدرج کردن آبشکن با دقت میلی‌متر انجام گرفت. گسترش عمق آبهستگی در آبشکن نشان می‌دهد که پس از مدت زمانی، گسترش آبهستگی بسیار کند شده و این زمانی است که به‌عنوان زمان تعادل نسبی برای تمام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. شکل (۴) تغییرات زمانی آبهستگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است مدت زمانی که آبهستگی به ۰/۹۵ عمق نهایی خود می‌رسد حدود ۲۳ ساعت بوده که این زمان مبنای اجرای آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که از این زمان به بعد سرعت رشد حفره آبهستگی بسیار ناچیز بود.



شکل ۴- گسترش آبشستگی با زمان در آزمایش‌های انجام شده.

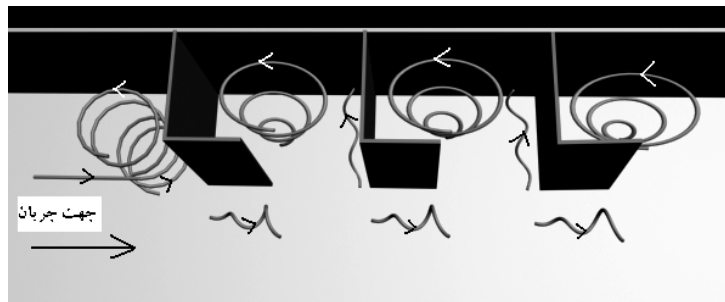
روش انجام آزمایش‌ها نیز به نحوی بود که ابتدا سطح بستر صاف شده و آب با دبی کم از انتهای کانال وارد می‌شد این عمل به منظور جلوگیری از شسته شده رسوبات به کار می‌رود بعد از ارتفاع آب به حدود ۱۰ سانتی‌متر روی رسوبات رسید سپس پمپ با دبی کم روشن و کم دبی به دبی موردنظر رسانده می‌شد. در این حالت دریچه انتهایی تا اندازه‌ای باز می‌شود که رسوبات در کل منطقه مورد آزمایش در این دبی به حرکت در نیاید. سپس عمق متناظر با $U/U_c = 0.95$ در بالادست آبشکن تنظیم و آزمایش شروع می‌شد. در خلال آزمایش، مشاهدات ثبت و پس از ۲۳ ساعت آزمایش متوقف و آب درون فلوم کم‌کم زهکشی می‌شد و سپس عمق حداکثر آبشستگی و همچنین توپوگرافی بستر با استفاده از ترازسنج دیجیتال برداشت می‌شد. در مجموع تعداد ۳۶ آزمایش با محدوده یاد شده در جدول (۲) انجام گردید.

جدول ۲- محدوده تغییرات پارامترهای موثر در آزمایش‌ها.

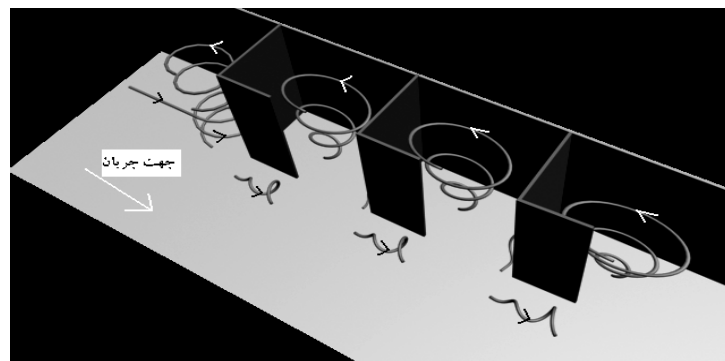
پارامتر	محدوده تغییرات
دبی جریان	۱۵-۴۰ لیتر بر ثانیه
عمق جریان در بالادست	۰/۰۵۸-۰/۱۷۵ متر
طول آبشکن	۸ سانتی‌متر
طول زبانه آبشکن	۸ سانتی‌متر
عدد فرود	۰/۲۹۵-۰/۵۸
اندازه ذرات رسوبی	۱/۰۵-۲/۷۵ (میلی‌متر)

نتایج و بحث

الگوی جریان اطراف آبشکن‌ها: آبشکن‌ها با کاهش مقطع رودخانه، الگوی جریان را به‌طور محسوسی تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. خطوط جریان با نزدیک شدن به سازه آبشکن آرایش خود را تغییر داده و به تبعیت از ساختار هندسی، نوع سازه و سایر مشخصات فنی مربوط، الگوهای متفاوتی از جریان در دماغه آبشکن پدیدار می‌گردد. ایجاد فرسایش در دماغه آبشکن و همچنین رسوب‌گذاری در پایین‌دست آبشکن از نوع و الگوی جریان پیروی می‌کند. در شکل‌های (۵) و (۶) مدل مفهومی الگوی جریان با استفاده از نوارهای رنگی و تزریق مواد رنگی ترسیم شده است.



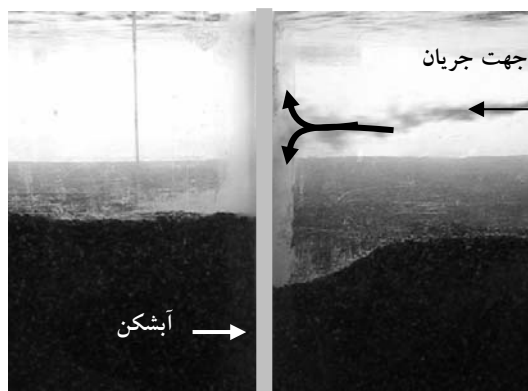
شکل ۵- جریان‌های چرخشی در طول و دماغه آبشکن‌ها.



شکل ۶- جریان‌های چرخشی در فضای بین آبشکن‌ها.

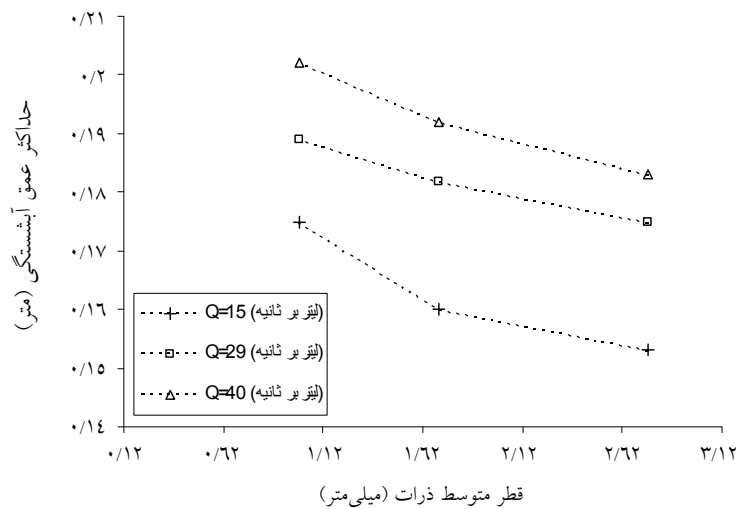
همان‌طور که در شکل‌های بالا مشاهده می‌شود، وجود آبشکن باعث ایجاد گردابه‌های چرخشی در بالادست آبشکن می‌شود. هم‌چنین جریان در بالادست آبشکن به دو دسته جریان تقسیم می‌شود.

(شکل ۷)، که یک دسته به سمت سطح آب و دسته دیگر به سمت کف در حرکت می‌باشند این به این خاطر می‌باشد که معمولاً جریان در بالادست پس از برخورد به مانعی از قبیل پایه پل‌ها و آبشکن‌ها سرعت جریان صفر شده و شبیه جریان جت به دو قسمت تقسیم می‌شوند که این مشاهده‌ها در پژوهش کوان (۱۹۸۴) و هاشمی‌نجفی (۲۰۰۸) نیز مشاهده می‌شود. در فضای بین آبشکن‌ها نیز جریان گردابه‌ای ایجاد می‌شود که باعث به‌وجود آمدن فرسایش و رسوب‌گذاری در فضای بین آبشکن‌ها می‌گردد همچنین در طول و دماغه آبشکن‌ها، جریان‌های گردابی شدید با قطر چرخش کم وجود دارد که عامل اصلی ایجاد آبستگی و فرسایش در فضای پایین دست آبشکن‌ها می‌باشد.



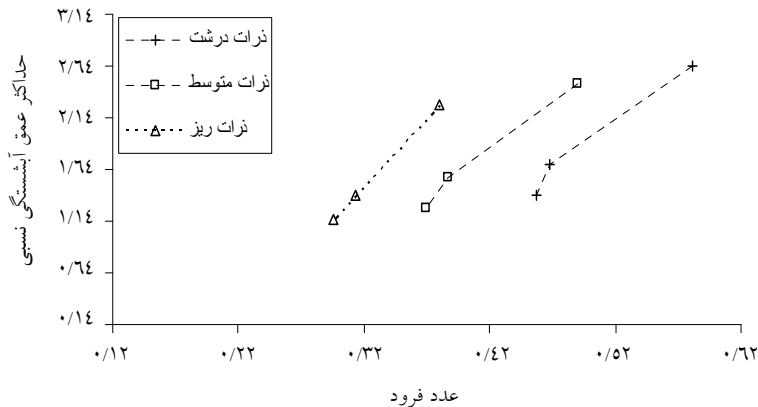
شکل ۷- تقسیم خطوط جریان بالادست آبشکن به سمت سطح آب و کف فلوم.

تغییرات حداکثر عمق آبستگی با قطر متوسط ذرات: شکل (۸)، تغییرات نسبت حداکثر عمق آبستگی در برابر اندازه قطر متوسط ذرات بستر را برای $(a/L=1)$ نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که حداکثر عمق آبستگی در اطراف آبشکن اول رخ می‌دهد. با توجه به نمودار مشخص است که هر چه قطر متوسط ذرات بستر افزایش یابد، میزان حداکثر عمق آبستگی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش دبی جریان برای هر اندازه از ذرات بستر، حداکثر عمق آبستگی افزایش می‌یابد. برای مقادیر مختلف (a/L) نمودارهایی مشابه نمودار شکل (۸) به دست می‌آید.

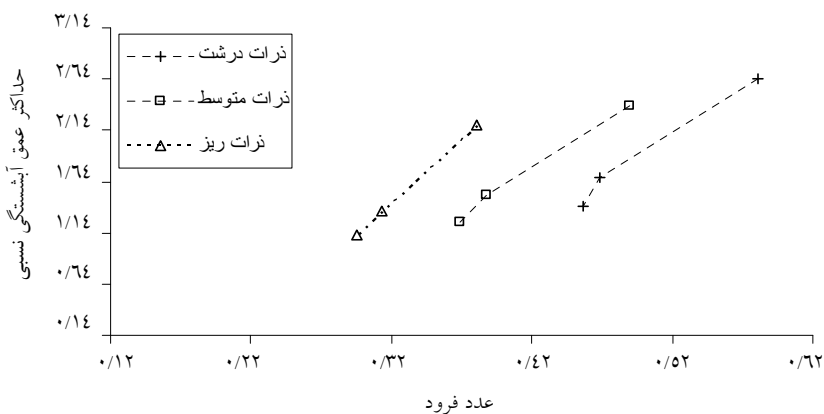


شکل ۸- تغییرات حداکثر عمق آبستگي با قطر متوسط ذرات برای $(a/L=1)$.

تغییرات حداکثر عمق آبستگي با عدد فرود: شکل‌های (۹) و (۱۰) تغییرات حداکثر عمق آبستگي برحسب اعداد فرود را برای اندازه‌های مختلف قطر ذرات رسوبي را برای دو نسبت a/L برابر ۱ و $2/5$ را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار مشخص است که با افزایش عدد فرود میزان حداکثر عمق آبستگي نسبي برای یک قطر مشخص از مصالح بستر، افزایش می‌یابد. دلیل این امر آن است که با زیاد شدن عدد فرود سرعت جریان بیشتر شده و در نتیجه تنش برشی اعمالی از طرف جریان افزایش و عمق آبستگي افزایش می‌یابد. هم‌چنین با زیاد شدن قطر ذرات رسوبي، عدد فرود افزایش می‌یابد. دلیل این امر نیز آن است که با افزایش قطر ذرات رسوب سرعت آستانه حرکت افزایش یافته و با توجه به این که $u/u_c=0.95$ می‌باشد، سرعت بیشتری مورد نیاز بوده و همین دلیل باعث افزایش عدد فرود می‌گردد. روند تغییرات مشابهی نیز در مورد فواصل دیگر بین آبشکن‌ها نیز برقرار است.



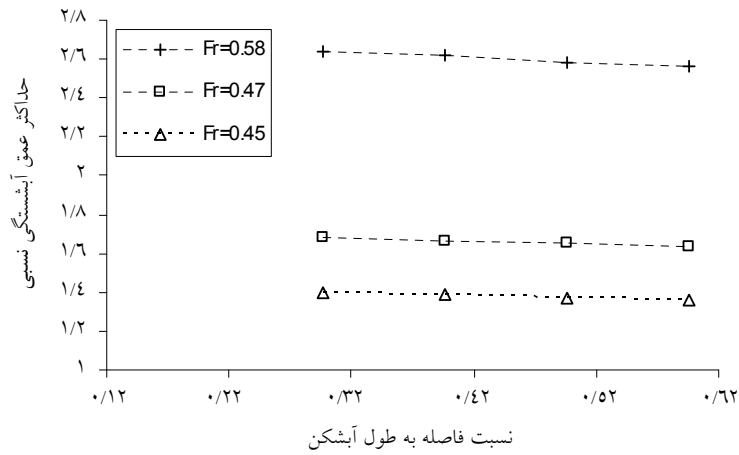
شکل ۹- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی (h_0/h) نسبت به عدد فرود (Fr) برای $a/L=1$.



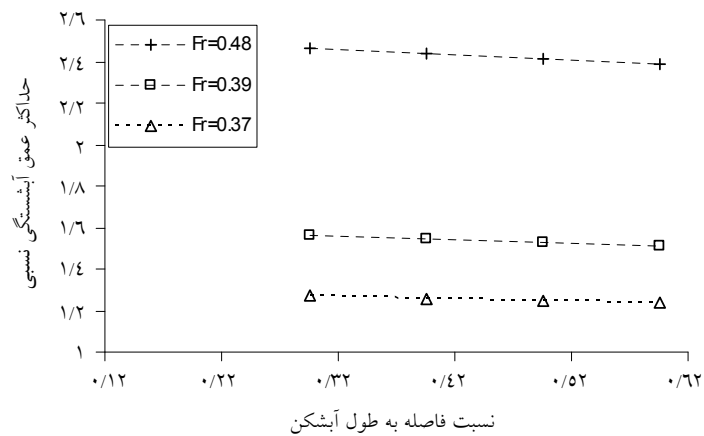
شکل ۱۰- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی (h_0/h) نسبت به عدد فرود برای $a/L=2/5$.

تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی با نسبت فاصله به طول آبشکن: شکل‌های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی با نسبت فاصله به طول آبشکن را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که حداکثر آبشستگی اطراف آبشکن اول رخ می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها مشخص است که در یک دانه‌بندی مشخص، با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی روند کاهشی دارد و این روند کاهشی با افزایش عدد فرود محسوس‌تر است. دلیل کاهش عمق آبشستگی با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها در این است که حفره آبشستگی آبشکن دوم اثر کمتری بر

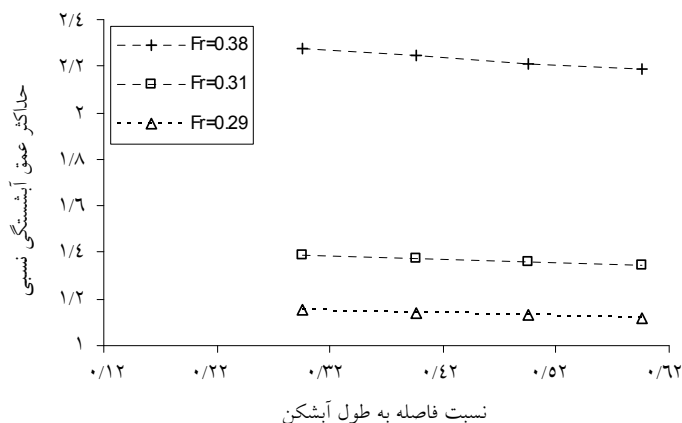
آبشستگی اطراف آبشکن اول خواهد داشت. یعنی با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها عملکرد آبشکن اول به آبشکن تکی نزدیک می‌شود.



شکل ۱۱- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی (h_0/h) به نسبت فاصله به طول آبشکن (a/L) برای ذرات درشت دانه.

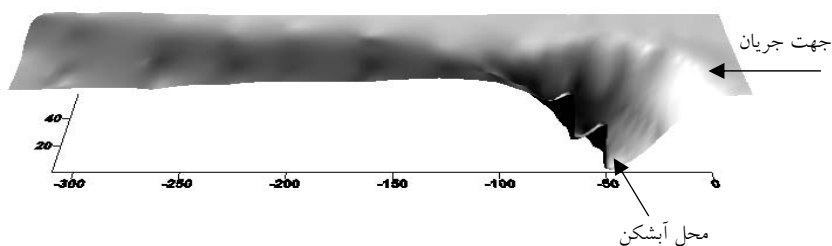


شکل ۱۲- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی (h_0/h) به نسبت فاصله به طول آبشکن (a/L) برای ذرات متوسط.

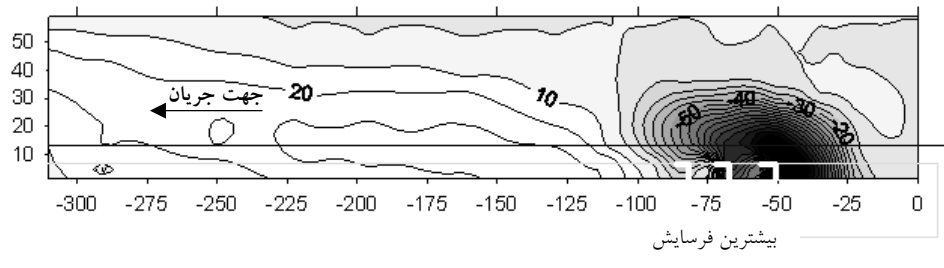


شکل ۱۳- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی (h_s/h) به نسبت فاصله به طول آبشکن (a/L) برای ذرات ریزدانه.

اثرات آبشکن‌ها بر تغییرات بستر: شکل (۱۴) نمای سه بعدی تغییرات بستر در اطراف سری آبشکن‌های L شکل را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص است که بیشترین آبشستگی اطراف آبشکن اول رخ داده است. شکل (۱۴) نیز خطوط هم‌تراز بستر اطراف آبشکن‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص است که رسوبات انتقال یافته از آبشستگی اطراف آبشکن‌ها در پایین دست آبشکن‌ها به صورت یک پشته رسوبی شکل می‌گیرد. شکل (۱۵) نیز پروفیل طولی بستر را برای دو مقطع حداکثر رسوب‌گذاری و فرسایش نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان رفتار پله‌ای تغییرات بستر را مشاهده نمود. علت این رفتار آن است که رسوبات منتقل شده از آبشکن اول به حفره آبشکن دوم وارد و در نتیجه عمق حداکثر آبشستگی اطراف حفره دوم و سوم از عمق متناظر آن اطراف آبشکن اول کمتر است.

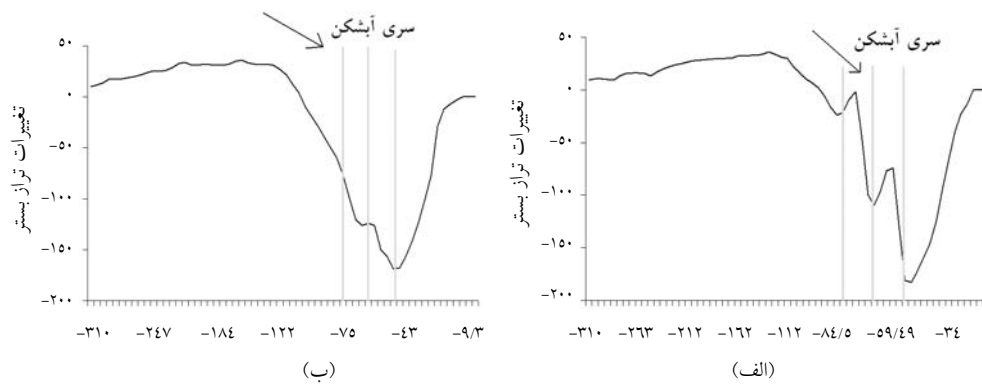


شکل ۱۴- نمای سه بعدی تغییرات بستر اطراف سری آبشکن‌ها.



بیشترین رسوب گذاری

شکل ۱۵- خطوط همتراز بستر برای دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه، فاصله بین آبشکن ها برابر ۸ سانتی متر و در مصالح ریزدانه.



شکل ۱۶- پروفیل طولی بستر برای دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه، فاصله بین آبشکن ها برابر ۸ سانتی متر و در مصالح ریزدانه، (الف) در محل حداکثر آبشستگی، (ب) در محل حداکثر رسوب گذاری.

ارائه رابطه برازشی به منظور برآورد حداکثر عمق آبشستگی و مقایسه با نتایج دیگران: به منظور ارائه فرم صریح ریاضی معادله (۴) در تخمین عمق آبشستگی از برازش مدل توانی بر داده‌های حاصل از آزمایش‌ها استفاده گردید. در این رابطه داده‌های حاصل از آزمایش‌های مربوط به آبشکن L - شکل مورد استفاده قرار گرفت. معادله (۵) حاصل این آنالیز بوده است:

$$\frac{h_s}{h} = 4.79 Fr^{0.97} \left(\frac{a}{L}\right)^{-0.033} \left(\frac{d_{50}}{h}\right)^{0.037} \quad (5)$$

برای ارزیابی کارایی رابطه (۵) از میانگین مربعات خطا (RMSE) و پارامتر خطا (Err) به صورت رابطه‌های (۶) و (۷) استفاده گردید.

$$RMSE = \left[\frac{\sum (X_i - X_m)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$Err = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{X_i - X_m}{X_m} \right| \quad (7)$$

در رابطه‌های بالا، مقدار محاسبه شده عمق آبستگي نسبي توسط رابطه توانی، X_m مقدار اندازه‌گیری شده عمق آبستگي نسبي در آزمایشگاه و n تعداد آزمایش‌ها می‌باشد. مقادیر پارامترهای بالا به ترتیب برابر با $RMSE = 0/014$ ، $Err = 0/015$ به دست آمد. محدوده تغییرات پارامترها در معادله (۵) در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳- محدوده تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها.

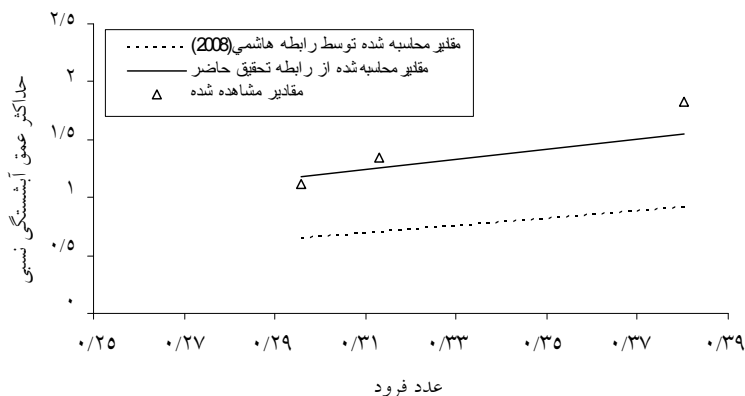
پارامتر	محدوده تغییرات
عدد فرود	۰/۲۹۵-۰/۵۸
نسبت فاصله بین آبشکن‌ها به طول آبشکن	۱-۲/۵
نسبت قطر متوسط ذرات به عمق جریان	۰/۰۳۵۷-۰/۰۰۴۷

با توجه به این‌که تنها پژوهش انجام شده در زمینه آبستگي موضعی اطراف آبشکن‌های L -شکل، پژوهش هاشمی (۲۰۰۸) می‌باشد، بنابراین نتایج این مطالعه با نتایج وی مقایسه گردید. لازم به ذکر است که مطالعات ایشان بر روی آبستگي اطراف آبشکن L -شکل منفرد انجام شده است. با توجه به این‌که با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها در سری آبشکن، عملکرد آبشکن‌ها به عملکرد آبشکن تکی نزدیک می‌شود، بنابراین نتایج حاصل از رابطه (۵) با فرض $a/L = 2/5$ با نتایج حاصل از رابطه هاشمی (۲۰۰۸) مقایسه گردید. لازم به ذکر است که رابطه هاشمی به صورت رابطه (۸) می‌باشد:

$$\frac{h_s}{h} = 4.88 Fr^{1.39} \left(\frac{U}{U_c} \right)^{2.58} \left(\frac{L_t}{L} \right)^{-0.54} \left(\frac{\pi\theta}{180} \right)^{-0.4} \quad (8)$$

در رابطه (۸)، θ برحسب درجه و محدوده تغییرات عدد فرود ۰/۲۱-۰/۳۹ است. بنابراین تنها نتایج آزمایش‌هایی می‌تواند مبنای مقایسه باشد که اعداد فرود آن در این محدوده باشند. شکل (۱۷) نتایج تغییرات عمق نسبی آبستگي برحسب عدد فرود را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر محاسبه شده توسط رابطه هاشمی (۲۰۰۸) از مقادیر مشاهده شده پژوهش حاضر

کمتر است. یکی از دلایل اختلاف نتایج، زمان انجام آزمایش‌ها در مطالعات هاشمی (۲۰۰۸) است. در مطالعه‌های ایشان مدت زمان ۹۰ دقیقه به‌عنوان زمان تعادل نسبی در نظر گرفته شده است، حال آنکه در پژوهش حاضر مدت زمان انجام آزمایش‌ها ۲۳ ساعت بوده است. بنابراین نتایج حاصل از رابطه هاشمی (۲۰۰۸) نمی‌تواند معرف عمق نهایی آبستگي باشد.



شکل ۱۷- تغییرات حداکثر عمق آبستگي نسبي (h_s/h) نسبت به عدد فرود (Fr).

نتیجه‌گیری

براساس آزمایش‌های انجام شده، نتایج زیر از این پژوهش حاصل می‌شوند:

۱. حداکثر عمق آبستگي اطراف آبشکن اول اتفاق می‌افتد و هر چه قطر متوسط ذرات بستر افزایش یابد، میزان حداکثر عمق آبستگي کاهش می‌یابد.
۲. در یک دانه‌بندی مشخص، با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، میزان حداکثر عمق آبستگي نسبی روند کاهشی دارد و این روند کاهشی با افزایش عدد فرود محسوس‌تر است.
۳. رفتار پله‌ای تغییرات بستر نشان‌دهنده آن است که رسوبات منتقل شده از آبشکن اول به حفره آبشکن دوم وارد و در نتیجه عمق حداکثر آبستگي اطراف حفره دوم و سوم از عمق متناظر آن در اطراف آبشکن اول کمتر است.

منابع

1. Ardeshir, A., Karami, H., and Saneie, M. 2005. Experimental Study on the Effect of Secondary Groyne on Local Scouring Around First Groyne, 7th International Civil Engineering Conference, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.
2. Fathi, A. 1992. Study of Scouring Around Groynes, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian)
3. Garde, R.J., Subramanya, K., Nambudripad, K.D. 1961. Study of scour around spur dikes, ASCE J. the Hydraulics Division, 87(HY6), Pp: 23-37.
4. Ghodsian, M., Hoseini, S.M. 2001. Scour Around Groins, International j. Sediment Research, 16:1. 60-68.
5. Hashemi Najafi F. 2008. Experimental investigation of scouring around L-head Groynes under Clear Water Condition, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, Iran.
6. Karami H. 2005. Experimental Investigation on the Effect of Secondary Length Groyne on scouring Groynes, M.Sc. Thesis, Amir Kabir University, Iran.
7. Karami, H., Saneie, M., and Ardeshir, A. 2006. Experimental Investigation of Time Effect on Local Scouring Around Groynes, 7th International River Engineering Conference, Ahwaz.
8. Kerenyi, K., Jones, S., and Stein. S. 2003. Bottomless Culvert Scour Study, U.S. Department of Transportation, Publication No. FHWA-RA-02-078.
9. Kuhnle, R.A., Alonso, C.V., Shields, F.D. 1999. Geometry of scour holes associated with 90-degree spur dikes. Journal of Hydraulics Engineering, 125:972-978.
10. Kwan, F. 1984. Study of Abutment Scour, Report No. 328, University of Auckland, school of T. Engineering, Department of Civil Engineering Private Bag, Auckland, New Zealand.
11. Melville, B.W. 1992. Local Scour at Bridge Abutments. Journal of Hydraulic Engineering, 118: 4. 615-631.
12. Przedwojski, B. 1995, River Training Techniques. A.A., Balkema, Netherlands.
13. Sajedi Sabegh, M., Hasani, Kh., and Habibi, M. 1995. Investigation of Local Scouring by Changing Inclination. 4th International River Engineering Conference, Ahwaz. (In Persian)
14. Saneie, M. 2006. Experimental Study on River Closure Effect on Spur dike Scouring. 7th International River Engineering Conference, Ahwaz. Pp: 354-363. (In Persian)

15. Shafaei Bajestan, M. 2005. Hydraulics of Sediment” Shahid Chamran of Ahvaz University Press. (In Persian)
16. Sharifimanesh, H. 1995. Investigation and Comparison of Scouring Around Permeable Groynes Applying Hydraulic Modelling. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian)
17. Soliman, M.M., Attia, K.M., Kotb Talaat, A.M., and Ahmed, A.F. 1997. Spur dike effects on the river Nile morphology after high Aswan dam. proceedings of the 27th Congress, IAHR, 1997. 5: 803-805.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(3), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Experimental study of scouring around a series of L-head groynes

***A.A. Dehghani¹, M. Barzali², R. Fazloula³ and M.Kh. Zea Tabar Ahmadi⁴**

¹Assistant Prof. Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Professor, Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

Groynes are structures constructed at an angle to the flow in order to deflect the flowing water away from critical zones. They serve to maintain a desirable channel for the purpose of flood control, improved navigation and erosion control. One of the most important problems for designers is the estimation of the maximum local scour depth in the vicinity of groynes. Due to contraction of streamlines, the local shear stress increases and the scouring around groynes will be developed. Underestimation of the maximum scour depth may lead to collapse. Most of the Previous studies were performed on the straight groynes and little information exists on local scouring around L-head groynes. Usually in practical case, the series of groynes (three groynes) are used for protecting the region subjected to scouring. In this study, the experiments were carried out with three different types of grain size, four various distances between groynes and three flow discharge in clear water condition. The results showed that the maximum depth of scour occurred in vicinity of first groyne and by increasing the grain size, the maximum depth of scour decreased. Also in a specific bed grain size, by increasing the distance between groynes, the descending trend of maximum depth of scour was observed especially in greater froude number.

keywords: Series of L-head groynes, Scouring, Clear water, Distance between groynes, Grain size

* Corresponding Author; Email: a.dehghani@gau.ac.ir