

بررسی آزمایشگاهی تاثیر نفوذپذیری آبشکن روی ابعاد چاله فرسایشی

الهام یباره پور^{۱*}، سیدمحمود کاشفی پور^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۰۶

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲ استاد گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: e.yabarepoor14@gmail.com

چکیده

یکی از روش‌های متداول در ساماندهی و کنترل فرسایش کناری رودخانه‌ها استفاده از آبشکن‌ها می‌باشد. آبشکن‌ها سازه‌های متقاطع یا عرضی هستند که از دیواره رودخانه به سمت محور مرکزی آن کشیده می‌شوند. این سازه هر چند با هدف رسوب‌گذاری و جلوگیری از فرسایش کناره‌ها و حواشی رودخانه ایجاد می‌شوند اما به دلیل کاهش عرض مقطع جریان و در نتیجه افزایش سرعت و تنش برشی در دماغه آبشکن، باعث ایجاد حفره فرسایشی در اطراف آن می‌گردند. به منظور بررسی اثر نفوذپذیری آبشکن بر ابعاد چاله فرسایشی، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۷/۳ متر، عرض ۰/۵۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر از جنس پلکسی گلاس انجام شد. در این تحقیق با استفاده از دو نوع آبشکن نفوذناپذیر و نفوذپذیر با سه درصد نفوذپذیری ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ برای چهار عدد فرود جریان و با عمق ثابت ۰/۱۵ متر، ابعاد چاله فرسایشی در شرایط آب زلال مورد آزمایش قرار گرفت. برای رسوبات بستر نیز از ماسه طبیعی با دانه‌بندی یکنواخت $D_{50} = 0.7\text{mm}$ استفاده شد. با استفاده از آنالیز ابعادی عوامل بی‌بعد استخراج و با انجام مطالعات آزمایشگاهی و برازش رگرسیونی بر داده‌های بدست آمده، رابطه‌هایی برای تخمین ابعاد چاله آبشستگی ارائه شد. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش عدد فرود جریان، ابعاد چاله فرسایشی به میزان بیش از ۱/۵ برابر (در حالت نفوذناپذیر) افزایش و با کاهش نفوذپذیری از ۵۰ درصد تا صفر درصد، حداکثر عمق چاله فرسایشی به میزان بیش از ۴ برابر افزایش پیدا کرد. همچنین با افزایش نفوذپذیری، ابعاد چاله آبشستگی اطراف دو ردیف اول و دوم آبشکن‌ها کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: آبشکن نفوذپذیر، چاله فرسایشی، سری آبشکن‌ها، عدد فرود

Laboratory Investigation on the Effect of Spur Dike Permeability on the Scour Hole Dimensions

E Yabbarehpour^{1*} and SM Kashefipour²

Received: 11 June 2013 Accepted: 28 August 2013

¹- M.Sc. Student, Dept. of Hydraulic Structures, Univ. of Shahid Chamran (SCU), Ahwaz, Iran

²- Prof., Dept. of Hydraulic Structures, Univ. of Shahid Chamran (SCU), Ahwaz, Iran

*Corresponding Author Email: e.yabarepoor14@gmail.com

Abstract

Spur dike use is one of the most common structural methods for improvement and bank protection in river engineering. This structure is generally built across the river from the bank towards centerline in order to protect the banks from erosion and to increase sedimentation along the protected banks. However, the scour hole around the nose of the structure is formed due to reducing flow width and increasing velocity and shear stress. In order to investigate the effect of permeability of spur dikes on scour hole dimensions, experiments were carried out in a laboratory flume with 7.3m length, 0.56m width and 0.6m depth. Four quantities of permeability including 0% (impermeable), 30%, 40% and 50% with four Froude numbers at constant flow depth (0.15m) were conducted and all experiments were carried out with clear water. D_{50} of the bed sediments was equal to 0.7mm. Dimensional analysis was applied to produce the related non-dimensional parameters and by using the measured data and regression analysis a few equations for estimating scour hole dimensions were developed. The results showed that with increasing Froude number the scour hole dimensions increased up to 1.5 times (in non permeable condition). The maximum scour hole depth increased up to 4 times, whereas the spur dike permeability decreased from 50% to 0%. The scour hole dimensions for the first and second spur dikes were also decreased by increasing the spur dike permeability.

Keywords: Froude number, Group of spur dikes, Permeable spur dike, Scour hole

مقدمه

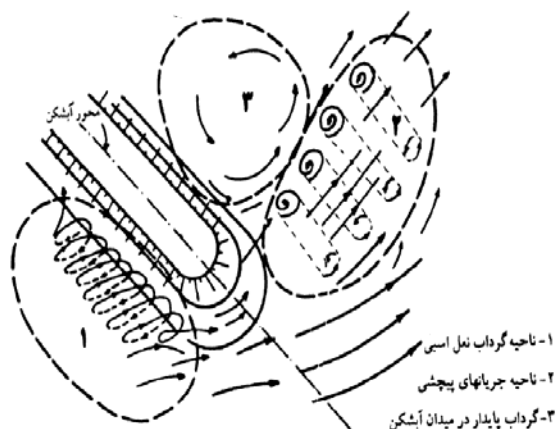
می‌کنند. از دیدگاه کلی آبشکن‌ها را می‌توان به دو گروه عمده شامل آبشکن‌های باز (نفوذپذیر) و بسته (نفوذناپذیر) طبقه‌بندی نمود. آبشکن‌های بسته معمولاً به صورت خاکریز سنگی و گابیونی اجرا می‌شوند، ولی آبشکن‌های باز اغلب بصورت شمع کوبی

آبشکن‌ها^۱ سازه‌های متقاطع یا عرضی هستند که از دیواره طبیعی رودخانه با طول مناسب و با زاویه مناسبی نسبت به راستای عمومی جریان توسعه یافته و سبب انحراف جریان از کناره‌ها و نواحی بحرانی شده و جریان را به سمت محور مرکزی رودخانه هدایت

² Permeable

³ Non permeable

¹ Groins



شکل ۱- الگوی جریان در دماغه آبشکن‌های بسته (بی‌نام ۱۳۸۱).

و یا بوسیله تنه درختان اجرا می‌شوند و با کاهش سرعت جریان در محدوده‌ای، از قدرت فرسایشی جریان کاسته و از تخریب سواحل جلوگیری می‌کنند. سازه‌های آبشکن هر چند با هدف رسوب‌گذاری، جلوگیری از فرسایش کناره‌ها و حواشی رودخانه و تثبیت موقعیت رودخانه ایجاد می‌گردند، اما خود تحت تاثیر پدیده فرسایش ناشی از تمرکز جریان بخصوص در قسمت دماغه قرار می‌گیرند. وجود آبشکن ضمن انحراف خطوط جریان در ناحیه نسبتاً وسیعی، جریان ثانویه را به وجود می‌آورد و جریان‌های چرخشی در دماغه و اطراف آبشکن خود عاملی برای فرسایش رسوب‌گذاری می‌گردد. مطابق شکل ۱، در اثر برخورد جریان آب با دماغه، نیم‌گرداب^۱ نسبتاً بزرگی تشکیل می‌شود (ناحیه ۱). میدان جریان‌های چرخشی حاصل از این گرداب به سمت جلوتر حرکت نموده و سبب تشدید فرسایش، انتقال موضعی مواد رسوبی و تشکیل چاله فرسایشی در پایین دست دماغه می‌گردد (ناحیه ۲). گرداب ایجاد شده در اطراف آبشکن (ناحیه ۳) دارای تداخل و تبادل دائمی با جریان‌های چرخشی ایجاد شده در دماغه بوده و سبب پیدایش مجموعه‌ای از فرایندهای سینماتیک و دینامیک می‌گردد. این فرایندها الگوی جریان پیچیده‌ای را در دماغه و اطراف آبشکن بوجود می‌آوردند و پیش‌بینی تبعات فرسایشی و رسوب‌گذاری ناشی از این جریان پیچیده چندان آسان نمی‌باشد. رشد و توسعه چاله فرسایشی تابعی از نوع و مشخصات آبشکن‌ها، دانه بندی مواد بستر، وضعیت بار رسوبی و شرایط هیدرولیکی رودخانه می‌باشد و یکی از شاخص‌های مهم در تعیین مشخصات حفره فرسایشی، حداکثر عمق آبشستگی می‌باشد (بی‌نام ۱۳۸۱).

گیل (۱۹۷۲) بیان داشت عمق آبشستگی تحت تاثیر دو عامل مهم اندازه مصالح بستر و عمق جریان یکنواخت بالادست آبشکن می‌باشد. ملویل (۱۹۹۲) رابطه‌ای تجربی برای پیش بینی حداکثر عمق فرسایش موضعی در آبشکن ارائه نمود و حداکثر عمق آبشستگی را به طول آبشکن مربوط کرد. کوهنل و همکاران (۱۹۹۹) تحقیقاتی بر روی توپوگرافی گودال ایجاد شده در اطراف آبشکن در قوس ۹۰ درجه انجام دادند. بنا به گزارش این محققین، محل ایجاد حداکثر فرسایش از بالادست آبشکن به سمت پایین دست آبشکن تغییر مکان می‌دهد. فتحی (۱۳۷۱) به بررسی آزمایشگاهی میزان آبشستگی در اطراف آپی^۲ پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش فاصله بین دو آپی عمق فرسایش موضعی افزایش یافته است. شریفی‌منش (۱۳۷۴) نیز با استفاده از مدل آزمایشگاهی به انجام آزمایش‌هایی به منظور مطالعه حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که در آبشکن بسته حداکثر حفره آبشستگی در نوک بالادست دماغه آبشکن می‌باشد، در حالی که در آبشکن باز آبشستگی در سرتا سر آبشکن اتفاق می‌افتد. نصراللهی (۱۳۸۰) به بررسی اثر درصد بازشدگی روی آبشستگی، اطراف آبشکن منفرد پرداخت. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی با کاهش درصد بازشدگی افزایش می‌یابد و

² Groin

¹ Half-horseshoe vortex

شد. دهقانی و همکاران (۱۳۸۷) به مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی موضعی، اطراف سری آبشکن‌های L شکل پرداختند. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن اول اتفاق می‌افتد و هر چه قطر متوسط ذرات بستر افزایش یابد میزان حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. مسجیدی و مرادی (۱۳۸۸) به منظور بررسی اثر موقعیت نصب آبشکن در قوس بر فرایند آبشستگی، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه انجام دادند. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی هنگام نصب آبشکن، در نیمه اول قوس کمتر از نیمه دوم قوس می‌باشد. همچنین ابعاد چاله آبشستگی نیز همانند حداکثر عمق آبشستگی، با جابجایی آبشکن از نیمه اول به نیمه دوم قوس افزایش می‌یابد. علیزاده و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی آزمایشگاهی توسعه زمانی آبشستگی اطراف آبشکن-های سرسپری جاذب و دافع در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق و بررسی ابعاد چاله فرسایشی برای عدد فرود 0.33 ، دبی 25 لیتر بر ثانیه و قطر مصالح $1/28$ میلی‌متر پرداختند. نتایج نشان داد که برای این نوع آبشکن ابعاد چاله فرسایشی در حالت مستغرق بیشتر و عمق حداکثر آبشستگی کمتر می‌باشد. همچنین در شرایط جریان ثابت، عمق حداکثر آبشستگی برای حالت دافع کمتر و ابعاد چاله فرسایشی بیشتر می‌باشد. حسین‌زاده تبریزی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی آزمایشگاهی اثر عدد فرود جریان بر آبشستگی و تغییرات توپوگرافی بستر در مسیر مستقیم به دلیل استقرار آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه پرداختند. تغییرات توپوگرافی بستر، چاله فرسایشی، عمق رسوب گذاری پایین‌دست تحت تاثیر عدد فرود و زاویه قرارگیری آبشکن‌ها نسبت به ساحل مجاور بالادست مد نظر قرار گرفت. نتایج به طور کلی بیانگر کاهش ابعاد چاله فرسایشی و حجم چاله با کاهش عدد فرودی باشند. یودبن و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی عمق آبشستگی اطراف آبشکن با دماغه گرد و با زوایای 60 ، 90 ، 135 و 150 درجه پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که آبشکن با زاویه 90 درجه بیشترین عمق آبشستگی و آبشکن با زاویه 135 درجه کمترین عمق

همچنین با کاهش درصد بازشدگی جبهه آبشستگی به سمت دماغه آبشکن متمایل می‌شود. قدسیان و حسینی (۲۰۰۱) با استفاده از فلوم آزمایشگاهی به بررسی ویژگی‌های چاله فرسایش اطراف آبشکن پرداختند و رابطه‌هایی برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی، میزان گسترش آبشستگی به سمت بالادست، درجهت پایین-دست و در جهت محور آبشکن ارائه دادند. کاندا و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی الگوی جریان اطراف آبشکن‌های قلوه سنگی^۱ رودخانه آکاشی^۲ با استفاده از مدل فیزیکی پرداختند و نتایج بدست آمده از داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های صحرایی برداشت شده از رودخانه آکاشی را مقایسه کردند. محل و عمق آبشستگی بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی مشابه مشاهدات رودخانه آکاشی بود. همچنین با استفاده از مدل عددی دو بعدی تغییرات بستر رودخانه را با درجه اطمینان قابل قبولی تخمین زدند. ژنگ و ناکاگاوا (۲۰۰۸) با انجام آزمایشاتی بر روی تک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر و مقایسه آبشستگی اطراف این دو نوع آبشکن، به این نتیجه رسیدند که حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن نفوذپذیر، به میزان کمتر از 50% از آبشکن نفوذناپذیر کمتر است. نصراللهی و همکاران (۲۰۰۸) به مطالعه آبشستگی اطراف تک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه، حداکثر عمق آبشستگی آبشکن‌های نفوذپذیر در مقایسه با آبشکن نفوذناپذیر کاهش قابل توجهی داشت. همچنین این محققان با استفاده از آنالیز ابعادی و داده‌های آزمایشگاهی، رابطه‌ای برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر بدست آوردند. ژنگ و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی جریان آشفته اطراف چاله آبشستگی تک آبشکن نفوذناپذیر پرداختند. در این مطالعه از مدل سه بعدی غیر خطی $k-\epsilon$ استفاده شد. براساس این مطالعه جریان پایین رونده، گردابه‌های نعل اسبی و جریان چرخشی اطراف آبشکن شبیه سازی

¹ Stone-Line spur dike

² Akashi

۲- عوامل مربوط به هندسه آبشکن: فاصله بین آبشکن‌ها a ، طول آبشکن L ، زاویه اتصال آبشکن به دیواره θ ، قطر میله D ، درصدبازشدگی $R = \frac{X}{X+D}$ که X فاصله بین دو میله متوالی است.

۳- عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: سرعت متوسط جریان در مقطع قبل از آبشکن U ، عمق جریان Y ، عمق آبشستگی دماغه آبشکن h_s ، شتاب ثقل g ، طول توسعه چاله آبشستگی l ، عرض توسعه چاله آبشستگی w .

۴- عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر: قطر متوسط D_{50} ، چگالی مصالح بستر G_s ، سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر U_c .

۵- عوامل مربوط به خواص سیال: جرم مخصوص سیال ρ ، لزجت دینامیکی μ . پارامترهای فوق به صورت تابع زیر نوشته می شود:

$$h_s = f(\mu, \rho, \theta, G_s, B_1, B_2, Y, U_c, U, D_{50}, g, a, l, s, R, w, L, D) \quad [1]$$

با انتخاب ρ, Y, U به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش باکینگهام پارامترهای بی بعد به صورت رابطه ۲ بدست می آید:

$$\frac{h_s}{Y}, \frac{w}{Y}, \frac{l}{Y} = f\left(\theta, \frac{B_1}{Y}, \frac{B_2}{Y}, \frac{a}{Y}, \frac{U_c}{U}, Re, F_d = \frac{U}{\sqrt{g(G_s-1)D_{50}}}, S, \%R, \frac{L}{Y}, \frac{D}{Y}, Fr\right) \quad [2]$$

با توجه به این که قطر متوسط مصالح در تمام آزمایش‌ها یکسان بود و اثر پارامتر سرعت در عدد فرود جریان لحاظ شده است، بنابراین فرود ذره از متغیرهای بی بعد کنار گذاشته شد. همچنین با توجه به این که محدوده عدد رینولدز در نظر گرفته شده برای این آزمایشات بیش از ۳۰۰۰۰ بود (جریان کاملاً آشفته) از پارامتر Re صرف نظر گردید. پارامترهای $\theta, S, \frac{B_1}{Y}, \frac{a}{Y}, \frac{B_2}{Y}, \frac{L}{Y}, \frac{D}{Y}$ به دلیل ثابت بودن، کنارگذاشته شدند. و در نهایت رابطه ۳ بدست آمد.

$$\frac{h_s}{Y}, \frac{w}{Y}, \frac{l}{Y} = f(\%R, Fr) \quad [3]$$

آبشستگی را داشته است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عدد فرود، حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌ها با زوایای مختلف افزایش می‌یابد. واقفی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی چاله آبشستگی و توپوگرافی بستر اطراف آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه پرداختند. در این مطالعه اثر پارامترهای طول آبشکن، محل قرار گرفتن آن در قوس و توزیع جریان اطراف آبشکن T شکل مورد بررسی قرار گرفت و معادله‌ای با این پارامترها برای این نوع آبشکن بدست آمد. عثمان و نجم الدین سعید (۲۰۱۲) با انجام آزمایشاتی، به بررسی اثر تنگ شدگی بر روی سری آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر پرداختند. نتایج این آزمایشات نشان داد که عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های نفوذناپذیر با نسبت تنگ شدگی ۶۰٪، ۲/۶ برابر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌ها با نسبت تنگ شدگی ۸۰٪ است و این نسبت برای آبشکن‌های نفوذپذیر با همان شرایط به میزان ۳ برابر می‌باشد.

با توجه به اهمیت آبشکن‌ها در ساماندهی رودخانه و اینکه بیشتر مطالعات انجام شده درباره حداکثر عمق آبشستگی، اطراف آبشکن منفرد می‌باشد، لذا در این مطالعه هدف بررسی اثر نفوذپذیری آبشکن و عدد فرود جریان بر میزان آبشستگی اطراف سری آبشکن‌ها و بدست آوردن روابطی بدون بعد برای محاسبه ابعاد چاله آبشستگی اطراف آبشکن اول می باشد.

مواد و روش‌ها

در این مقاله ابتدا با آنالیز ابعادی پارامترهای موثر بر چاله فرسایشی آبشکن مشخص می‌شود، سپس روابط بین این پارامترها به کمک داده‌های آزمایشگاهی بررسی می‌گردد.

قبل از انجام آزمایشات، بوسیله آنالیز ابعادی پارامترهای مهم به صورت زیر بررسی شد:

۱- عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض کانال در مقطع قبل از آبشکن B_1 ، عرض کانال در مقطع تنگ شده B_2 ، شیب کانال S .

نحوه انجام آزمایشات

به این منظور ابتدا آزمایش‌هایی برای تعیین سرعت بحرانی رسوبات ترتیب داده شد. به این صورت که به ازای دبی‌های مختلف و عمق ثابت ۰/۱۵ متر دبی که در آن لرزش و حرکت جزئی ذرات رسوب (آستانه حرکت) وجود داشت برداشت شد و از روی آن سرعت بحرانی محاسبه گردید. لازم به ذکر است که دبی مربوط به حرکت جزئی ذرات رسوب، ۲۵ لیتر بر ثانیه بود به این ترتیب سرعت نظیر آن به عنوان سرعت بحرانی $U_c = 0.2 \text{ m/s}$ در نظر گرفته شد. به این ترتیب اعداد فرود ۰/۱۸، ۰/۲، ۰/۲۲، و ۰/۲۴ در کلیه آزمایش‌ها انتخاب گردید. به منظور تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها یک آزمایش طولانی به مدت ۱۴ ساعت بر روی آبشکن نفوذ ناپذیر و عدد فرود ۰/۲۴ انجام گردید (شکل ۵). نتایج بدست آمده نشان داد که در ۱۵۰ دقیقه حدود ۹۰٪ حداکثر عمق آبشستگی رخ می‌دهد. لذا در کلیه آزمایش‌ها، زمان آزمایش ۱۵۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

پیش از راه اندازی پمپ دریچه انتهایی بسته شده و سپس آب به آرامی به درون فلوم هدایت گردید. پس از بالا آمدن آب در فلوم و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات، بعد از گذشت چند دقیقه پمپ با دبی کم راه اندازی شد و به آرامی توسط شیر فلکه اصلی، دبی به میزان مورد نیاز رسانده شد. با تنظیم دقیق و همزمان شیر فلکه و دریچه پایین دست عمق جریان ۰/۱۵ متر و دبی مورد نظر حاصل شد. پس از گذشت ۱۵۰ دقیقه پمپ خاموش گردید و آب موجود در فلوم به آرامی زهکشی شد تا تاثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد نگردد. پس از تخلیه کامل آب درون فلوم، توپوگرافی بستر در محدوده ۲ متری آبشکن‌ها به وسیله متر لیزری با دقت ۱ میلی‌متر برداشت گردید.

نتایج و بحث

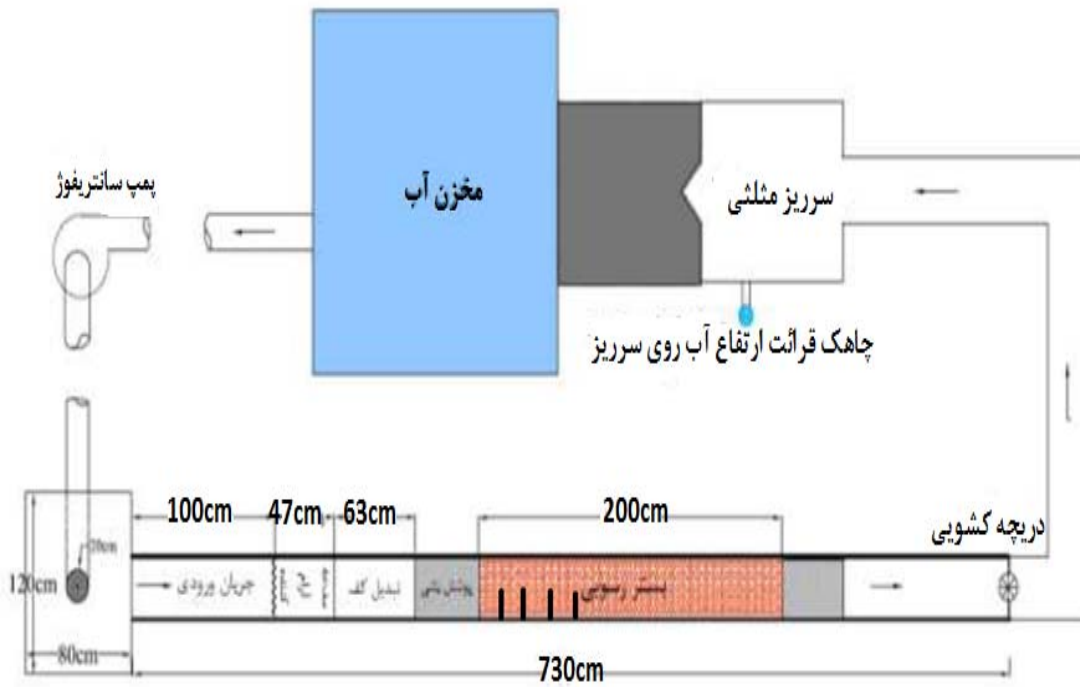
آبشکن‌ها با کاهش مقطع رودخانه الگوی جریان را به طور محسوسی تحت تاثیر قرار می‌دهند. خطوط جریان با نزدیک شدن به سازه آبشکن آرایش خود را تغییر داده و به تبعیت از ساختار هندسی، نوع سازه و سایر مشخصات فنی مربوط الگوهای متفاوتی از جریان در دماغه آبشکن پدیدار می‌گردد. در بالادست آبشکن بسته

آزمایش‌ها در فلوم آزمایشگاهی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران با طول ۷/۳ متر و عرض ۰/۵۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود جریان مورد نیاز در فلوم با استفاده از یک پمپ سانتریفوژ از مخزن زیرزمینی تامین آب، وارد فلوم می‌گردید و بوسیله صفحه مشبک در ورودی فلوم تلاطم آن حذف می‌شد. در انتها، دریچه‌ای برای تنظیم عمق جریان تعبیه شده است و دبی جریان نیز از طریق سرریز مثلثی ۵۳ درجه اندازه گیری می‌شد. در این مطالعه از دو نوع آبشکن باز و بسته استفاده شد. آبشکن بسته از یک صفحه به ارتفاع ۰/۳۵ متر و به ضخامت ۵ میلی‌متر از جنس پلکسی گلاس ساخته شد. طول آبشکن با توجه به توصیه دونات (۱۹۹۵) که حداکثر بین ۱۰٪ تا ۲۰٪ عرض فلوم است، ۲۰٪ عرض فلوم یعنی ۱۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۳). برای آبشکن باز از یک سری میله‌های برنجی به قطر ۶ میلی‌متر و ارتفاع ۰/۳۵ متر و طول معادل با آبشکن بسته برای آبشکن‌ها با سه درصد نفوذپذیری (بازشدگی) ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ استفاده گردید. میله‌های مزبور بر روی یک صفحه از جنس پلکسی گلاس نصب شده و از بالا نیز جهت تثبیت فاصله بین آنها از یک تسمه با همان جنس استفاده گردید. سری آبشکن‌ها به صورت یکطرفه و در یک بازه

۲ متری با نسبت $\frac{S}{L} = 3$ از یکدیگر نصب گردیدند. (شکل ۴). این فاصله با توجه به این که حداقل فاصله بین آبشکن‌ها معادل طول حفره آبشستگی دماغه آبشکن در جهت جریان است (بی‌نام، ۱۳۸۸) و این فاصله طبق مطالعات یاسی (۱۹۹۷) در بازه مستقیم، ۳ برابر طول موثر آبشکن، انتخاب شده است. رسوبات بستر نیز از ماسه طبیعی با دانه‌بندی یکنواخت $D_{50} = 0.7 \text{ mm}$ استفاده شد. طبق توصیه الیتو و هاگر (۲۰۰۲) برای جلوگیری از اثرات زبری، عمق آب بیشتر از ۲۰ میلی‌متر پیشنهاد شده است. لذا در کلیه آزمایش‌ها عمق آب ثابت و برابر ۰/۱۵ متر در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی گردید

بیشتر می‌باشد و در عدد فرود ثابت با کاهش نفوذپذیری طول و عمق چاله فرسایشی به میزان بیش از ۴ برابر و عرض به میزان بیش از ۲ برابر افزایش داشته است. دلیل این امر آن است که آبشکن نفوذناپذیر به صورت مانعی غیرقابل نفوذ در مقابل جریان آب عمل می‌کند از این رو تمرکز جریان و اغتشاش در دماغه این نوع آب شکن‌ها از شدت بیشتری برخوردار است ولی در آبشکن‌های باز برخلاف آبشکن‌های بسته بخشی از جریان از میدان آبشکن عبور می‌نماید و دیواره آبشکن قسمتی از جریان را منحرف می‌کند در نتیجه چاله فرسایشی کوچکتری را نسبت به حالت نفوذناپذیر سبب می‌گردد. به دلیل اینکه عامل توسعه چاله آبشستگی در جهت عرض فلوم، میزان انحراف خطوط جریان و گردابه‌های نعل اسبی است که در اثر برخورد با صفحه آبشکن نفوذناپذیر پدید می‌آیند و با نفوذپذیر شدن آبشکن، اطراف هر کدام از میله‌ها جریان‌های گردابی تشکیل می‌شود، با این تفاوت که میزان انحراف کمتر می‌شود. ولی عامل توسعه عمق و طول چاله آبشستگی در آبشکن‌های نفوذناپذیر (به ترتیب) قدرت گردابه‌های نعل اسبی و جریان‌های چرخشی است که با نفوذپذیر شدن آبشکن این عوامل تضعیف می‌یابند. به همین دلیل است که با نفوذپذیر شدن آبشکن تغییرات طول و عمق چاله آبشستگی نسبت به حالت نفوذناپذیر، بیشتر از تغییرات عرض چاله آبشستگی می‌باشد.

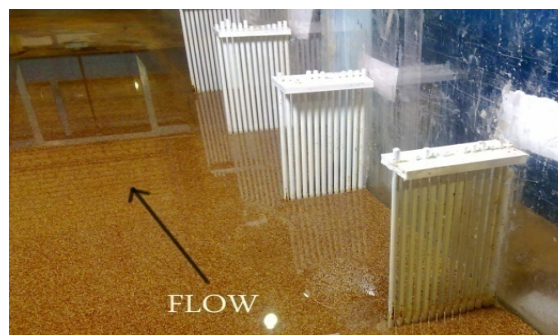
(نفوذناپذیر) به دلیل برخورد جریان با آن، سرعت جریان صفر شده و شبیه جریان جت به دو قسمت تقسیم می‌شود که یک دسته به سمت سطح آب و دسته دیگر به سمت کف فلوم در حرکت می‌باشد. مشاهدات نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی در دماغه آبشکن اول که آبشکن حساس در مسیر مستقیم می‌باشد اتفاق افتاده است. به همین دلیل چاله آبشستگی اطراف این آبشکن بررسی می‌شود. طول و عرض چاله فرسایشی در شکل ۶ نشان داده شده است. شکل‌های ۷ تا ۹ تاثیر عدد فرود را بر توسعه آبشستگی در طول (l/Y) ، عرض (w/Y) و عمق آبشستگی (hs/Y) نسبی برای اعداد فرود $0/18$ ، $0/2$ ، $0/22$ ، و $0/24$ نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌های ۷ تا ۹ مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود، طول به میزان بیش از ۲ برابر، عرض و عمق چاله فرسایشی برای آبشکن‌های نفوذناپذیر به میزان بیشتر از ۱/۵ برابر افزایش می‌یابد. افزایش عدد فرود باعث افزایش سرعت جریان و افزایش قدرت گردابه‌هایی که نزدیک بستر و اطراف صفحه آبشکن قرار دارد، شده و به این ترتیب وجود گردابه‌های نعل اسبی در کف و تمرکز جریان و اغتشاش در دماغه آبشکن، باعث افزایش عمق و عرض چاله آبشستگی می‌شوند. همچنین گردابه‌های چرخشی در پایین دست آبشکن، باعث انتقال رسوبات و افزایش طول چاله آبشستگی می‌گردند. همان‌طور که از شکل‌های ۷ تا ۹ مشخص است، مشخصات چاله آبشستگی برای آبشکن بسته (نفوذناپذیر) نسبت به آبشکن با نفوذپذیری ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ به میزان قابل توجهی



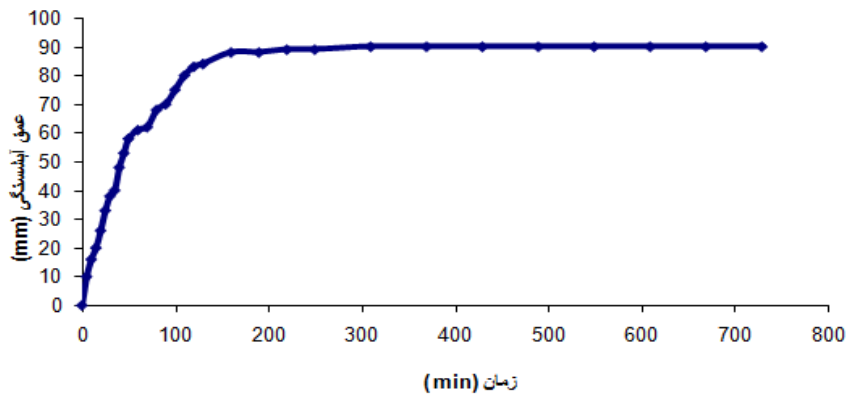
شکل ۲- پلان فلوم آزمایشگاهی.



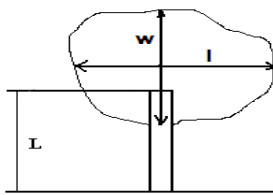
شکل ۳- نمایی از سری آبشکن‌های بسته.



شکل ۴- نمایی از سری آبشکن‌های نفوذ پذیر.

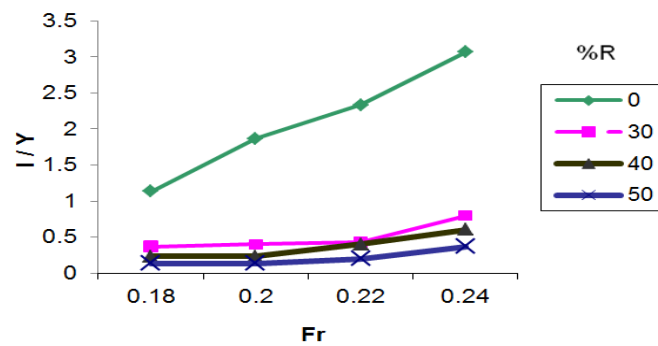


شکل ۵- تغییرات عمق آبشستگی با زمان برای تعیین زمان تعادل.

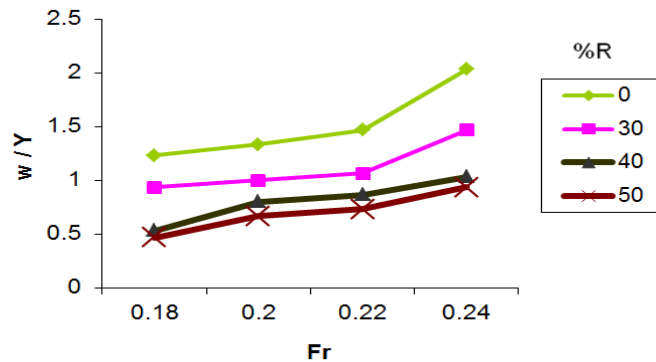


شکل ۶- نمایش ابعاد حفره فرسایشی

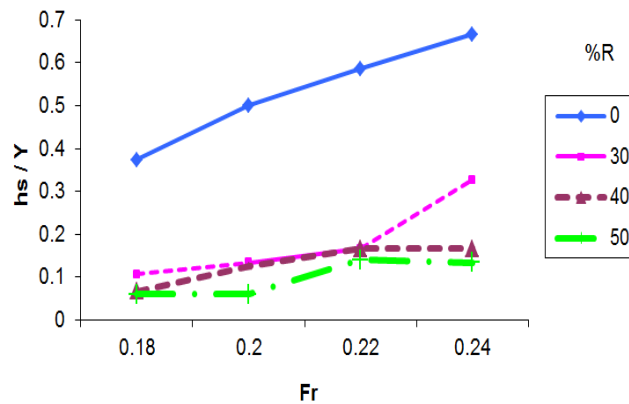
به منظور ارائه رابطه ریاضی برای تخمین ابعاد چاله آبشستگی، از برازش مدل توانی بر داده‌های حاصل از آزمایش‌ها استفاده گردید. ضریب R^2 معادله‌های ۴ تا ۶ به ترتیب برابر با ۰/۹۷۲، ۰/۹۲۷ و ۰/۹۸۴ است و ضریب $RMSE$ نیز به ترتیب برابر با ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۲ و ۰/۲۵۹ می‌باشد.



شکل ۷- تغییرات نسبت طول چاله آبشستگی به عمق جریان با عدد فرود برای نفوذپذیری‌های مختلف آبشکن‌ها.



شکل ۸- تغییرات نسبت عرض چاله آبستگی به عمق جریان با عدد فرود برای نفوذپذیری‌های مختلف آبشکن‌ها.



شکل ۹- تغییرات نسبت عمق چاله آبستگی به عمق جریان با عدد فرود برای نفوذپذیری‌های مختلف آبشکن‌ها.

اثر شکل دماغه می‌باشد زیرا دماغه این تحقیق مستطیلی شکل و دماغه مربوط به تحقیق کاندا و همکاران (۲۰۰۷) نوزنقه‌ای شکل است. با توجه به شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ تفاوت کمی بین داده‌های محاسباتی و اندازه‌گیری شده تحقیق یودین و همکاران (۲۰۱۱) وجود دارد که به این دلیل است که طول آبشکن در مطالعه یودین و همکاران (۲۰۱۱) بیش از ۲۰٪ عرض فلوم است و در نتیجه مقدار داده‌های اندازه‌گیری شده در مقایسه با داده‌های محاسباتی بیشتر است و داده‌ها زیر خط با زاویه ۴۵ قرار می‌گیرد.

با توجه به این که ابعاد چاله فرسایشی آبشکن بسته (نفوذناپذیر) به میزان قابل توجهی بزرگتر از چاله فرسایشی اطراف آبشکن‌های باز (با درصد‌های نفوذپذیری مختلف) است، مشاهدات نشان داد که اطراف

$$\frac{h_s}{Y} = 16.537 Fr^{2.185} e^{-0.035R} \quad [4]$$

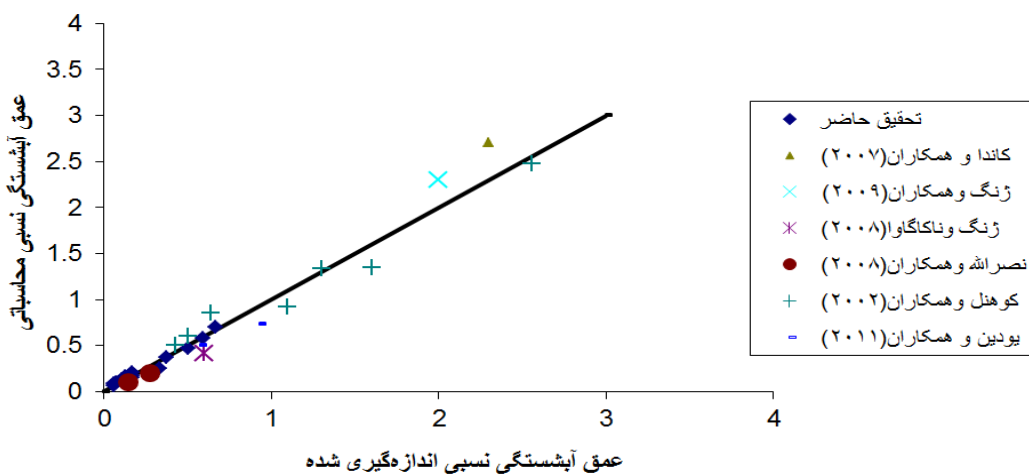
$$\frac{w}{Y} = 28.214 Fr^{1.87} e^{-0.014R} \quad [5]$$

$$\frac{l}{Y} = 87.589 Fr^{2.419} e^{-0.033R} \quad [6]$$

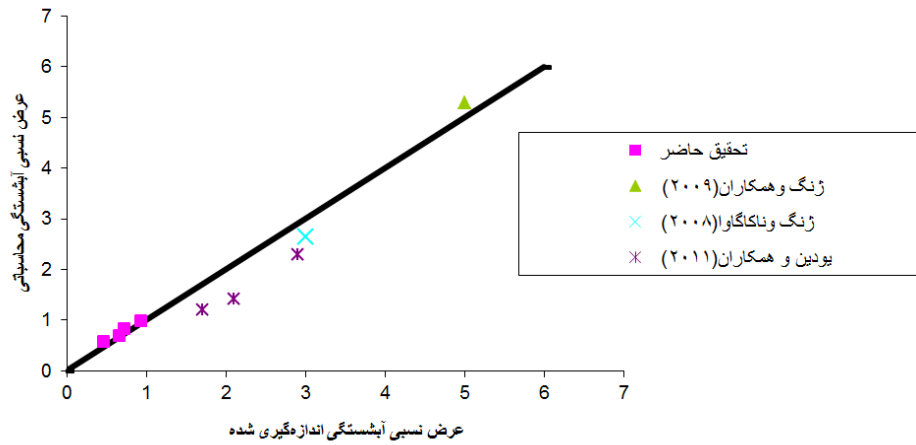
در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ تغییرات ابعاد چاله آبستگی محاسبه شده توسط معادلات ۴ تا ۶ را در مقابل مقدارهای مشاهده شده آزمایشگاهی ارائه شده که توزیع مناسب داده‌ها را اطراف خطی با زاویه ۴۵ درجه نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود بین مقدار محاسباتی با استفاده از رابطه ۴ و مقدار اندازه‌گیری شده در تحقیق کاندا و همکاران (۲۰۰۷) تفاوت‌های کمی مشاهده می‌شود که مربوط به

مشخص می‌شود که روند تغییرات عمق آبشستگی در آبشکن اول و دوم با افزایش نفوذپذیری کاهش یافته است و میزان آبشستگی اطراف آبشکن اول بیشتر از آبشکن دوم است. از طرفی میزان آبشستگی دو ردیف آبشکن‌ها با افزایش نفوذپذیری به مقدارهای یکسان نزدیک می‌شوند و علت این مسئله این است که در آبشکن بسته بعلاوه برخورد جریان با آبشکن اول و انحراف آن به سمت محور فلوم باعث می‌شود جریان کمتر متوجه دماغه آبشکن دوم شود و به این ترتیب میزان آبشستگی آبشکن دوم کمتر از آبشکن اول می‌شود. با افزایش درصد نفوذپذیری آبشکن‌ها میزان انحراف جریان توسط آبشکن‌ها کمتر شده و در نهایت میزان آبشستگی دو ردیف آبشکن‌ها کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل انحراف کمتر جریان توسط آبشکن اول مقدار آبشستگی دو ردیف آبشکن به مقدارهای یکسان نزدیکتر شده و در آبشکن‌های با نفوذپذیری ۴۰٪ به مقدار یکسان می‌رسند.

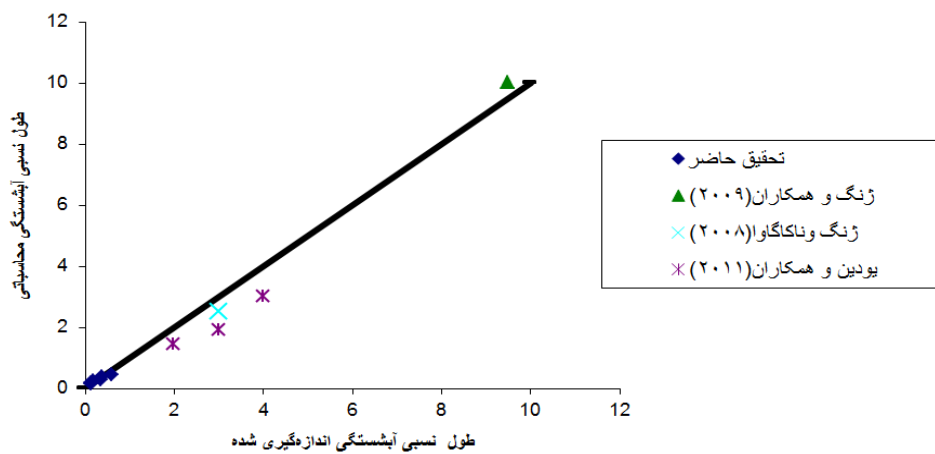
آبشکن بسته (نفوذناپذیر) دوم به جای آبشستگی، رسوبگذاری اتفاق افتاده است. شکل ۱۳ نسبت ارتفاع رسوبگذاری (h) در اطراف این آبشکن به عمق جریان را برای اعداد فرود مختلف، نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است اطراف آبشکن دوم، برخلاف آبشکن اول رسوبگذاری اتفاق افتاده است و به این دلیل است که رسوبات منتقل شده از چاله فرسایشی آبشکن اول به چاله فرسایشی آبشکن دوم وارد شده و در نتیجه منجر به رسوبگذاری اطراف آبشکن دوم می‌شود. همچنین با توجه به شکل مشخص است که با افزایش عدد فرود ارتفاع رسوبگذاری اطراف آبشکن دوم به دلیل افزایش آبشستگی اطراف آبشکن اول و انتقال آن به چاله فرسایشی آبشکن دوم افزایش پیدا کرده است. شکل ۱۴ تغییرات آبشستگی اطراف آبشکن اول و دوم را در فرود ۰/۲۴ نشان می‌دهد. در این شکل محور طولی، درصد نفوذپذیری آبشکن و محور قائم، عمق آبشستگی یا رسوبگذاری است. اعداد مثبت مربوط به رسوبگذاری و اعداد منفی مربوط به آبشستگی است. از مقایسه دو نمودار



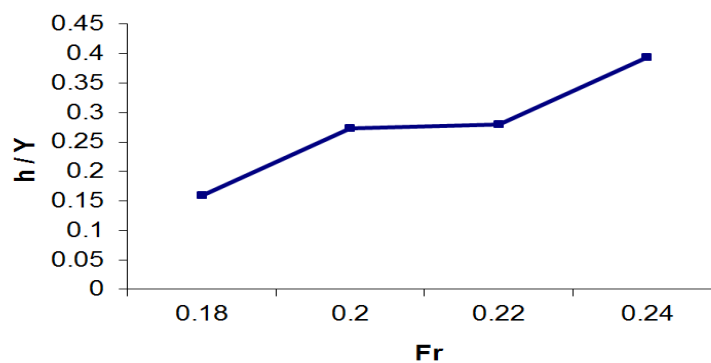
شکل ۱۰- مقایسه نتایج حاصل از رابطه ۴ و مشاهدات آزمایشگاهی دیگران و تحقیق حاضر.



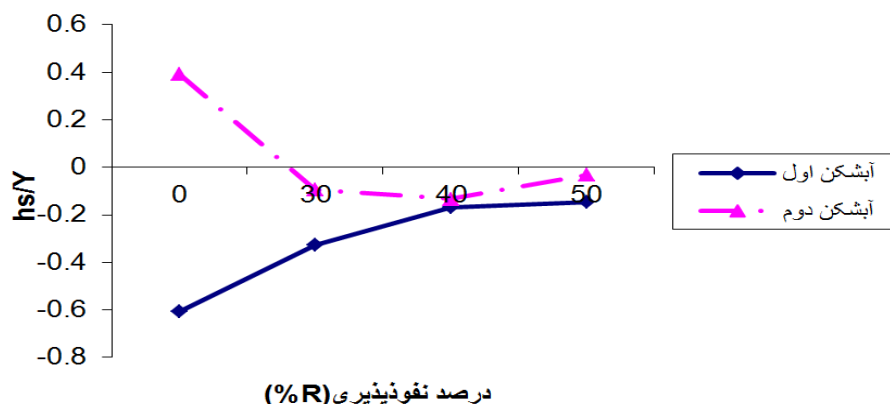
شکل ۱۱- مقایسه نتایج حاصل از رابطه ۵ و مشاهدات آزمایشگاهی دیگران و تحقیق حاضر.



شکل ۱۲- مقایسه نتایج حاصل از رابطه ۶ و مشاهدات آزمایشگاهی دیگران و تحقیق حاضر.



شکل ۱۳- تغییرات نسبت ارتفاع رسوبگذاری به عمق جریان به ازای اعداد فرود مختلف برای آبشکن دوم بسته.



شکل ۱۴- تغییرات نسبت عمق آبشستگی به عمق جریان به ازای نفوذپذیری‌های مختلف برای سری آبشکن در عدد فرود ۰/۲۴.

نتیجه‌گیری کلی

با کاهش نفوذپذیری آبشکن ابعاد چاله فرسایشی در جهت طول و عمق به میزان بیش از ۴ برابر و عرض به میزان بیش از ۲ برابر افزایش می‌یابد. ابعاد چاله فرسایشی اطراف آبشکن بسته (نفوذناپذیر) به میزان قابل توجهی بیشتر از آبشکن باز با نفوذپذیری ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ است. با افزایش عدد فرود، رسوبگذاری اطراف آبشکن نفوذناپذیر ردیف دوم به میزان بیش از ۲ برابر افزایش می‌یابد. با افزایش نفوذپذیری، آبشستگی اطراف دو ردیف آبشکن‌ها کاهش می‌یابد.

در این تحقیق آزمایش‌هایی جهت تعیین ابعاد حفره فرسایشی در آبشکن‌های بسته (نفوذناپذیر) و نفوذپذیر با هدف بررسی تاثیر عدد فرود بر روی طول عرض و عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های ردیف اول و دوم انجام گرفت. با توجه به آنالیز ابعادی و شرایط در نظر گرفته شده برای آزمایش‌ها متغیرهای موثر در این تحقیق عدد فرود و درصد نفوذپذیری آبشکن‌ها بود. نتایج تحقیق نشان داد:

با افزایش عدد فرود ابعاد چاله فرسایشی در سه جهت طول، عرض و عمق برای آبشکن نفوذناپذیر به میزان بیش از ۱/۵ برابر افزایش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

- بی‌نام، ۱۳۸۱. فرسایش و رسوبگذاری در محدوده آبشکن‌ها. نشریه شماره ۲۴۸، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- بی‌نام، ۱۳۸۸. راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن‌های رودخانه‌ای. نشریه شماره ۵۱۶، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور.
- حسین زاده تبریزی ح، قدسیان م و واقفی م، ۱۳۹۱. تاثیر عدد فرود جریان و زاویه آبشکن‌های سرسپری سری بر توپوگرافی بستر در مسیر مستقیم. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه، دانشگاه ارومیه، ایران.
- دهقانی الف، برزلی م، فضل اولی ر و ضیا تبار احمدی م، ۱۳۸۷. مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی موضعی اطراف سری آبشکن‌های L شکل. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره سوم، صفحه‌های ۱۴۱ تا ۱۶۲.
- شریفی‌منش ح، ۱۳۷۴. مقایسه آبشستگی اطراف آبشکن‌های نفوذپذیر با استفاده از مدل آزمایشگاهی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- علیزاده ارمکی ح، واقفی م و قدسیان م. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی هندسه چاله آبشستگی و نرخ آبشستگی حول آبشکن سرسپری جاذب و دافع. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه، دانشگاه گیلان، ایران.

- فتحی الف، ۱۳۷۱. بررسی میزان آبستنگی موضعی اطراف دماغه ابی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- مسجدی ع و مرادی، ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی اثر موقعیت تک آبشکن بر عمق آبستنگی اطراف آن در خم ۱۸۰ درجه، علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، جلد ۵۰، شماره ۱۳، صفحه‌های ۴۳ تا ۵۱.
- نصراللهی ع، ۱۳۸۰. بررسی اثر درصد بازشدگی روی آبستنگی اطراف آبشکن‌های باز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- Donat M, 1995. Bioengineering Techniques for Streambank Restoration: A review of Central European practices. Watershed Restoration Project Report No. 2, University of British Columbia, Austria.
- EnschedeKuhnle RA., Alonso CV., Shields FD, 1999. Geometry of scour holes associated with 90- degree spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 125(9): 972- 978.
- Ghodsian M, Hoseini SM, 2001. Scour around groins. *International journal of Sediment Research*, 16 (1):60- 68.
- Gill MA, 1972. Erosion of sand beds around spur dikes. *Journal of Hydraulics Division*, 98 (HY9):1587- 1602.
- Kanda K, Samoto Y and Li Z, 2007. Study on morphodynamics around stone-lined spur dike in the Akashi River. Pp. 1197-1206, *Proceedings of the 5th IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*.
- Kuhnle RA., Alonso CV, Shields FD, 2002. Local scour associated with angle spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 128(12):1087-1093.
- Melville BW, 1992. Local Scour at Bridge Abutments. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 118 (4): 615-631.
- Nasrollahi A, Ghodsian M and Salehi Neyshabouri SAA, 2008. Local Scour at Permeable Spur Dikes. *Journal of Applied Sciences* 8(19): 3398 – 3406.
- Oliveto G, Hager WH, 2002. Temporal Evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 128 (9): 811-820.
- Osman MA, Negmaldin Saeed H, 2012. Local scour depth at the nose of permeable and impermeable spur dykes. *University of Khartoum Engineering Journal* 2(1): 1-9.
- Uddin MJ, Hossain M M and Ali, M S, 2011. Local scour around submerged bell mouth groin for different orientations. *Journal of Civil Engineering (I E B)* 39(1):1-17.
- Vaghefi M, Ghodsian M and Salehi Neyshabouri SAA, 2012. Experimental study on scour around a T- shaped spur dike in a channel bend. *Journal of Hydraulic Engineering* 138(5): 471- 474.
- Yasi M, 1997. Flow and bed topography behind a groin. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Monash University, Melbourne, Australia, 340p.
- Zhang H, Nakagawa H, 2008. Scour around spur dykes: Recent Advances and Future Researches. *Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 51B*.
- Zhang H, Nakagawa H, Kawaike K and Baba Y, 2009. Experiment and simulation of turbulent flow in local scour around a spur dyke. *International Journal of Sediment Research* 24(1): 33-45.