



Experimental Study on Scouring Around Single T-Shaped Spur Dike on a 90 Degree Bend

M. Vaghefi¹, M. Ghodsian²
and S. A. A. Salehi Neyshabouri³

Abstract

In the past few decades, the use of spur dikes for stability of the outer banks of rivers and in the bend has attracted the attention of hydraulic engineers. These structures affect the stability of river banks. Setting spur dikes in the flow direction leads to local scour around the spur dike and changes the topography of the stream bed. This paper examines the geometry of the scour hole, the maximum depth of scour, and the bed topography around the T-Shaped spur dike located in a 90 degree bend. The experiments were carried out in an experimental channel with a smooth bend of 90 degrees (having the ratio of the bend radius to the channel width equal to four) under the clear water condition and with sediments having an average diameter of 1.28mm. The effects of parameters like the length of the spur dike and its wing, the location of the spur dike in the bend, and the approach Froude number were studied on the amount of scour. The results showed that by increasing the length of the spur dike, decreasing the wing length of the spur dike, increasing the Froude number, and changing the location of spur dike towards downstream, the dimension of the scour hole increases. New equations for scour parameters at a T-Shaped spur dike are obtained.

Keywords: Scour pattern, T-Shape spur dike, Geometry of scour hole, Bed topography, Maximum scour.

مطالعه آزمایشگاهی الگوی آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل منفرد مستقر در قوس ۹۰ درجه

محمد واقفی^۱، مسعود قدسیان^۲
و سیدعلی اکبر صالحی نیشابوری^۳

چکیده

یکی از سازه‌های هیدرولیکی مؤثر در تثبیت سواحل رودخانه آبشکن می‌باشد. در چند دهه اخیر استفاده از آبشکن‌ها در پایداری ساحل خارجی رودخانه‌ها و در مسیرهای قوسی مورد توجه مهندسان هیدرولیک قرار گرفته است. استقرار آبشکن در مسیر جریان باعث ایجاد آبشستگی‌های موضعی در محل آبشکن و تغییرات توپوگرافی بستر می‌گردد. در این مقاله به بررسی هندسه حفره آبشستگی و میزان آبشستگی بیشینه و توپوگرافی بستر پیرامون آبشکن‌های T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه پرداخته شده است. برای این منظور در یک کانال آزمایشگاهی با قوس ۹۰ درجه و ملایم (نسبت شعاع قوس به عرض کانال برابر ۴) و دارای بستر رسوبی با قطر متوسط ۱/۲۸ میلی‌متر و شرایط آب تمیز، آزمایشاتی طراحی و اجرا شد. در این آزمایشات تأثیر متغیرهای طول آبشکن، طول بال آبشکن، موقعیت قرارگیری آبشکن در قوس و همچنین عدد فرود جریان بر میزان آبشستگی حول آبشکن T شکل و تغییرات توپوگرافی بستر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بیانگر این است که افزایش طول آبشکن، کاهش طول بال آبشکن، افزایش عدد فرود و تغییر موقعیت آبشکن به سمت پایین دست قوس باعث افزایش ابعاد چاله آبشستگی می‌گردد. معادلات جدیدی در محاسبه پارامترهای چاله آبشستگی حاصل شد.

کلمات کلیدی: الگوی آبشستگی، آبشکن T شکل، هندسه حفره آبشستگی، توپوگرافی قوس، آبشستگی بیشینه

تاریخ دریافت مقاله: ۲۵ دی ۱۳۸۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۹ آبان ۱۳۸۷

1- Phd Student, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: vaghefi@modares.ac.ir
2- Professor, Water Engineering research Center, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: ghods@modares.ac.ir
3- Professor, Water Engineering research Center, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: salehi@modares.ac.ir

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های هیدرولیکی، بخش مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد هیدرولیک، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد سازه‌های هیدرولیکی، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

اندازه‌گیری سرعت و تغییر دادن موقعیت آبشکن‌ها به تأثیر آن بر روی میدان جریان اطراف آبشکن بسته در کانال قوسی پرداخت و میدان گردابه‌ها و شدت آبشستگی را با تکنیک درون یابی درجه سوم شبه ذره (CIP) اندازه‌گیری نمود. (Forghani et al. (2007) به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان دو بعدی و آبشستگی پیرامون آبشکن مستقیم و مستقر در قوس ۹۰ درجه پرداختند. (Fazli et al. (2007) نیز به بررسی آزمایشگاهی تغییرات آبشستگی و چگونگی تشکیل چاله آبشستگی در اطراف آبشکن‌های مستقیم و مستقر در موقعیت‌های مختلف قوس ۹۰ درجه پرداختند و نتیجه گرفتند که هرچه موقعیت استقرار آبشکن به سمت انتهای قوس پیش می‌رود مقدار آبشستگی بیشتر می‌گردد. همچنین فضلی و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی تأثیر متغیرهای طول آبشکن و عدد فرود جریان و نحوه شکل‌گیری الگوی جریان اطراف آبشکن‌های مستقیم پرداختند. مطالعات گذشته بیانگر فقدان تحقیقات کافی در مورد آبشکن‌های مستقر در قوس است همچنین در مورد آبشستگی اطراف آبشکن T شکل مستقر در قوس نیز علی‌رغم استفاده از آن در طبیعت، مطالعاتی انجام نگرفته است. در این مقاله به بررسی اثر پارامترهایی نظیر طول آبشکن، طول بال آبشکن، موقعیت استقرار آبشکن در قوس و عدد فرود جریان بر هندسه‌ی حفره‌ی آبشستگی، توپوگرافی قوس و الگوی آبشستگی پیرامون این نوع آبشکن‌ها (آبشکن T شکل) پرداخته شده است.

۲- آنالیز ابعادی

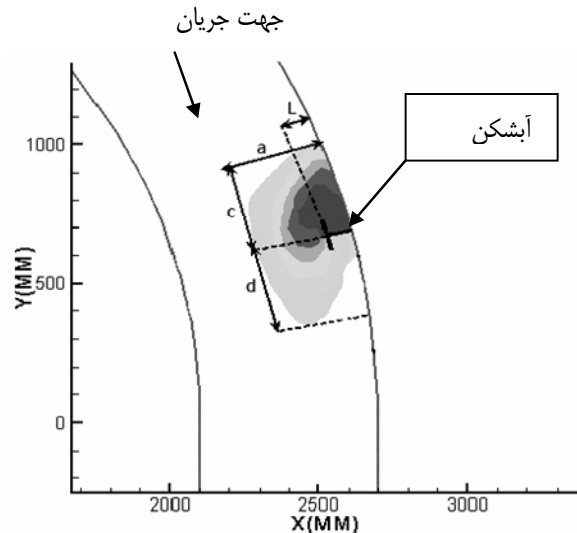
با در نظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال رابطه ذیل بین پارامترهای موثر بر ابعاد حفره آبشستگی در حالت تعادل برقرار است:

$$\phi = f(L, l, \alpha, \theta, Y, B, \lambda, S_0, V, g, d_{50}, R) \quad (1)$$

در رابطه بالا (ϕ) معرف پارامترهای چاله آبشستگی شامل عمق آبشستگی موضعی (ds)، پیشروی آبشستگی در عرض کانال (a)، پیشروی آبشستگی بسمت بالا دست (c)، پیشروی آبشستگی پایین دست (d) است. شکل (۱) مشخصات هندسی چاله آبشستگی را نشان می‌دهد. همچنین B عرض مجرا، λ زاویه مرکزی قوس و معادل ۹۰ درجه، S_0 شیب طولی کف مجرا (معادل $0/001$)، L طول آبشکن، l طول بال آبشکن، α زاویه استقرار محور آبشکن نسبت به جهت جریان اصلی (تحت زاویه ۹۰ درجه نسبت به ساحل خارجی)، θ زاویه موقعیت قرارگیری آبشکن در قوس، Y عمق جریان در مسیر مستقیم بالا دست، t زمان از شروع آزمایش، t_c زمان تعادل آزمایشات، g شتاب ثقل، R شعاع مرکزی قوس، d_{50} قطر متوسط

وقوع آبشستگی در قوس رودخانه‌ها و فرسایش ناشی از آن به علت اندرکنش جریان‌های ثانویه و دانه بندی رسوبات و جریان‌های طولی می‌باشد. سطح آزاد جریان و تراز کف در مقاطع مختلف عرضی در محل قوس متفاوت است. سطح آزاد جریان و تراز کف نه تنها به طبیعت قوس مانند شکل پلان، فرسایش پذیری دیواره‌ها و بستر، بلکه به جریان گردابی ثانویه که در محل خم بوجود می‌آید بستگی دارند. هنگامی که از آبشکن‌ها در خم استفاده می‌شود، تحلیل جریان و آبشستگی در اطراف آبشکن‌های استفاده شده در قوس خارجی مشکل‌تر می‌گردد که علت آن اندرکنش بین الگوی جریان در قوس و الگوی جریان اطراف آبشکن و تأثیر جریان‌های حلزونی در قوس‌ها می‌باشد. به منظور استفاده بهتر از منابع آب، حفظ پایداری سواحل رودخانه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از روش‌های پایداری سواحل استفاده از آبشکن‌ها می‌باشد. مطالعات بر روی آبشکن‌های مستقر در کانال‌های مستقیم در سطح بسیار وسیعتری نسبت به آبشکن‌های واقع در قوس‌ها انجام شده است. اما در مورد آبشکن‌های بکار رفته در قوس رودخانه، علی‌رغم استفاده وسیع آنها، تحقیقات چندانی انجام نگرفته است. اولین تحقیق در مورد بکارگیری آبشکن در قوس توسط Ahmad (1951) انجام گرفت. وی با تغییر متغیرهای دبی جریان، نسبت انقباض، شکل آبشکن، موقعیت استقرار در قوس، زاویه‌ی آبشکن با جریان و دانه بندی رسوبات در کانال مستقیم و قوسی به بررسی عمق آبشستگی ماکزیمم پرداخت. Gill (1972) با تغییر شعاع انحنای قوس عمق جریان و قطر ذرات در کانال مستقیم و قوسی نشان داد که فاصله‌ی بین آبشکن‌ها وابستگی زیادی به شعاع انحنای قوس دارد. و در مسیرهای قوسی حدود یک تا دو برابر طول آبشکن خواهد بود. (Tingasnchali & Maheswaran (1990) به اصلاح ضرایب مربوط در مدل عددی $k-\epsilon$ به دلیل انحنای خطوط جریان در قوس و در اطراف آبشکن پرداختند و نتیجه گرفتند که این ضریب تأثیر عمده‌ای بر میزان سرعت جریان دارد در حالی که بر میزان تنش برشی ماکزیمم در دماغه‌ی آبشکن تأثیر قابل توجهی ندارد. (Mesbahi (1992) آزمایشات خود با آبشکن در قوس را بگونه‌ای تنظیم نمود که عرض جریان در جلو آبشکن نسبت به حالت بدون آبشکن تغییری ننماید و نتیجه گرفت که احداث آبشکن در قوس‌ها عمق حفره‌ی آبشستگی را عمیق‌تر می‌کند. (Soliman et al. (1997) به بررسی آزمایشگاهی و عددی تأثیر آبشکن بر روی مورفولوژی قوس‌های رودخانه‌ی نیل پرداختند و یک مدل دو بعدی در خصوص تأثیر آبشکن‌ها و مؤلفه‌های سرعت ارائه نمودند. (Giri et al. (2004) به صورت آزمایشگاهی و عددی با

مصالح و V سرعت جریان تعریف شده است. با استفاده از تئوری π باکینگهام رابطه (۱) بصورت زیر بدون بعد می‌شود که در آن Fr عدد فرود جریان است.



شکل ۱- مشخصات هندسی چاله آبشستگی

$$\frac{\phi}{Y} = f\left(\frac{\theta}{\lambda}, Fr, \frac{R}{B}, \frac{l}{R}, S_0, \frac{\alpha}{\lambda}, \frac{R}{L}, \frac{L}{d_{50}}, \frac{d_{50}}{B}, \frac{R}{d_{50}}\right) \quad (2)$$

با صرف نظر کردن از پارامترهای ثابت $(\frac{R}{B}, \frac{\alpha}{\lambda}, \frac{R}{d_{50}}, S_0)$ و ترکیب

اعداد بدون بعد $(\frac{L}{d_{50}}, \frac{d_{50}}{B})$ و $(\frac{l}{R}, \frac{R}{L})$ معادله (۲) بصورت زیر

برای بررسی اثرات متغیرهای موثر بر آبشستگی تعادل یافته حول آبشکن در قوس ساده می‌شود.

$$\frac{\phi}{Y} = f(\theta/90, Fr, \frac{L}{B}, \frac{l}{L}) \quad (3)$$

همچنین در رابطه بالا در صورتیکه پارامتر ϕ برابر حجم حفره آبشستگی (V) لحاظ شود. پارامتر مذکور با توان سوم عمق جریان در مسیر بالا دست بدون بعد می‌شود.

۳- شرح آزمایشات

آزمایشات مورد نظر در کانالی با قوس ۹۰ درجه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام گرفت. شکل (۲) پلان و هندسه قوس مورد نظر را نشان می‌دهد. این کانال از یک قسمت مستقیم به طول ۷/۱ متر در بالادست و همچنین قسمت مستقیمی به طول ۵/۲ متر در پایین دست تشکیل می‌شود که این دو

مسیر مستقیم توسط قوس ۹۰ درجه به شعاع انحنای خارجی ۲/۷ متر بهم متصل گردیده است. کانال از جنس شیشه ساخته شده است که توسط قاب‌های فولادی پایداری آن حفظ می‌گردند. نسبت شعاع قوس به عرض کانال برابر ۴ و ارتفاع آن ۷۰ سانتی متر و عرض آن ۶۰ سانتی متر است. کف کانال از رسوباتی با قطر متوسط معادل ۱/۲۸ میلی متر و انحراف معیار ۱/۳ میلی متر پوشیده شده است. دبی جریان به وسیله یک روزنه واسنجی شده تنظیم گردید. همچنین عمق جریان و نیم رخ بستر با استفاده از یک عمق سنج الکترونیکی (point gage) با دقت ۰/۱ میلی متر اندازه گیری شد. برای کنترل جریان از یک دریچه قطاعی که در انتهای کانال نصب گردیده استفاده شد. آبشکن‌ها به صورت صفحات مستطیلی با پلان T شکل و از جنس پلکسی گلاس می‌باشد. ضخامت آبشکن‌ها ۱ سانتی متر و ارتفاع آن ۶۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. به منظور تعیین اثر طول آبشکن و موقعیت استقرار آبشکن بر الگوی آبشستگی سری اول آزمایشات در چهار طول متفاوت آبشکن (۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪ و ۲۵٪ عرض کانال) و چهار موقعیت متفاوت (۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه در قوس خارجی)، طراحی و اجراء گردید. چهار طول بال متفاوت (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ طول آبشکن) در موقعیت‌های متفاوت استقرار آبشکن به منظور تعیین اثر بال آبشکن بر الگوی آبشستگی سری دوم آزمایشات را شامل می‌شود. سپس با ثابت در نظر گرفتن هندسه آبشکن و به منظور تعیین اثر عدد فرود جریان سری سوم آزمایشات با تغییر عدد فرود (۰/۲۳، ۰/۲۷، ۰/۳ و ۰/۳۴) و در موقعیت‌های استقرار متفاوت آبشکن در قوس اجرا گردید. تعداد کل آزمایشات انجام شده ۵۰ آزمایش می‌باشد. دبی جریان در کلیه آزمایشات ثابت و برابر ۲۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. در تمام آزمایشات شرایط آب تمیز حاکم بود. به منظور تعیین زمان تعادل یک آزمایش ۱۲۰ ساعته برای آبشکن در موقعیت استقرار ۷۵ درجه و یک آزمایش ۸۰ ساعته برای آبشکن در موقعیت استقرار ۴۵ درجه انجام گردید. زمان انجام هر آزمایش مدت زمان معادل ۰/۸۸ عمق ماکزیمم آبشستگی در آزمایش زمان تعادل ۱۲۰ ساعته در نظر گرفته شد. که این میزان برای هر آزمایش ۲۴ ساعت می‌باشد. در این زمان میزان آبشستگی در فواصل زمانی ۴ ساعته کمتر از ۲ میلی‌متر بوده است. شکل (۳) نمونه ای از تغییرات عمق آبشستگی در آزمایش زمان تعادل را نشان می‌دهد. فواصل مقاطع اندازه گیری توپوگرافی بستر از ۰.۵ درجه تا ۵ درجه متغیر می‌باشد که این مقدار در نزدیکی آبشکن‌ها تحت شبکه بندی ریزتر قرار دارد. تعداد مقاطع عرضی برداشت شده در هر آزمایش بین ۳۵ تا ۴۵ مقطع و تعداد مقاطع طولی بین ۲۸ تا ۳۰ مقطع بود. مشاهدات کیفی (تزیق مواد رنگی، حرکت روبانهای رنگی و تزیق براده چوب و ...) به منظور ارتباط الگوی جریان با الگوی آبشستگی در کلیه آزمایشات انجام گردیده

۴-۱- بررسی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون

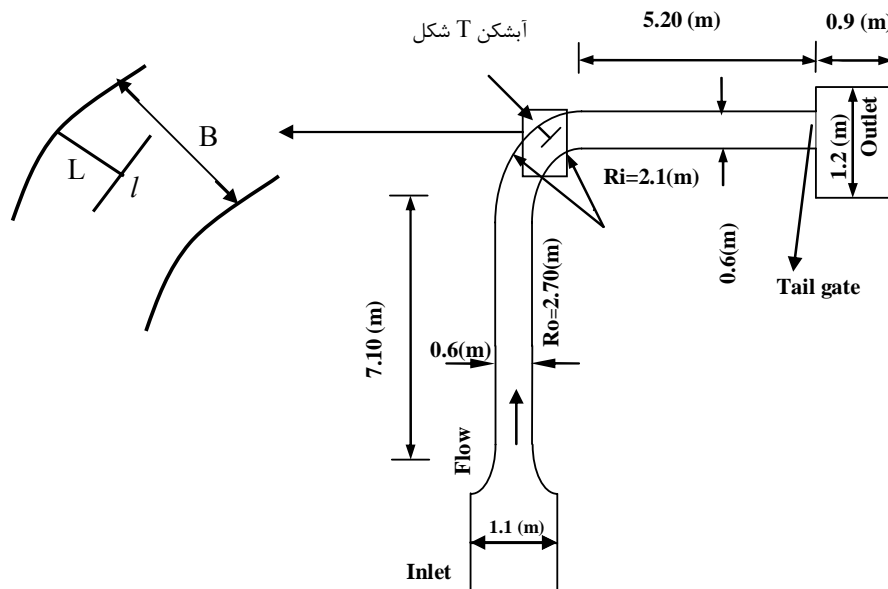
آبشکن

یکی از مهمترین شاخصه‌های جریان‌هایی که تحت تأثیر آبشکن‌ها می‌باشد ایجاد یک ناحیه چرخشی جریان می‌باشد. این نوع جریان‌ها ارتباطی متقابل با تغییرپذیری بستر فرسایشی رودخانه‌ها دارند. حال اگر آبشکن‌ها با هندسه‌هایی نظیر آبشکن T شکل در مسیرهای قوسی مستقر باشند جریانهای ثانویه و حلزونی نیز بر روی این ناحیه تأثیرگذار است. در نتیجه اندر کنش جریانهای موجود در قوس و جریانهای بوجود آمده در اطراف این نوع آبشکن‌ها یکسری جریان‌های پیچیده با جهت‌های متفاوت بوجود می‌آید که تشخیص و تجزیه و تحلیل آنها کاری بسیار غامض و بررسی هیدرودینامیکی محدوده اطراف آبشکن بسیار دشوار و پیچیده است.

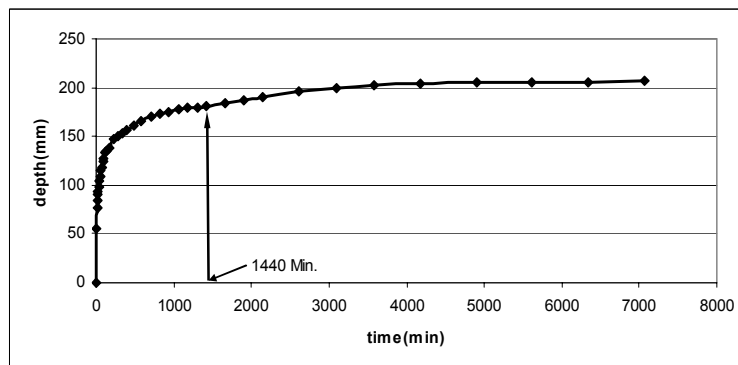
است. در ابتدای هر آزمایش با استفاده از یک ارابه متحرک، بستر کانال تحت شیب ثابت مسطح می‌گردد. مدت زمان اشباع کانال بین ۲۰ تا ۳۰ دقیقه می‌باشد. در طی این مدت یک دریچه متحرک در جلو دریچه قطاعی کانال قرار می‌گیرد که وظیفه آن جلوگیری از خروج آب از کانال می‌باشد. پس از بالا آمدن سطح آب در کانال، بصورت تدریجی جریان به دبی مورد نظر افزایش می‌یابد. مقدار جریان در طول آزمایش توسط ارفیس نصب شده در کنار کانال تنظیم می‌گردد. در انتهای آزمایش نیز با خاموش کردن پمپ، جریان بصورت تدریجی از کانال خارج و زهکشی کانال در مدت زمان ۲ تا ۳ ساعت انجام می‌گیرد.

۴- نتایج

نتایج مربوط به بررسی پارامترهای مختلف به تفکیک ارائه می‌گردد.



شکل ۲- موقعیت و هندسه کانال



شکل ۳- تغییرات زمانی عمق آبشستگی در آزمایش زمان تعادل

تأثیر جریانهای ذکر شده ایجاد یک ناحیه آبستگي پيرامون آبشکن و نشست شدن رسوبات در پايين دست و کناره‌های کانال می‌باشد. در ابتدای هر آزمایش جریان‌های لایه‌های بالایی سطح آب به صورت جریان رو به پايين عمل می‌کنند و به علت اصطکاک کم‌تر با لایه‌های مجاور، زودتر از جریان‌های لایه‌های پايين خود را به دماغه آبشکن می‌رسانند و یکسری گردابه‌های عمودی که محور آنها عمود بر مسیر جریان آب است تشکیل می‌گردد و همزمان با آن نیز گردابه‌های افقی ناشی از جریان لایه‌های پايين در محل تماس آبشکن با سطح بستر در بالادست و در داخل محدوده بال و بدنه آبشکن در جهت عقربه‌های ساعت تشکیل می‌گردد. گردابه‌های قائم به جداسازی رسوبات از بستر می‌پردازند و گردابه‌های افقی رسوبات جدا شده را به خارج از سطح حفره در حال تشکیل شدن پرتاب می‌کند. این گردابه‌ها عامل اصلی ایجاد آبستگي در دماغه بالادست آبشکن می‌باشد. در محل استقرار آبشکن به علت کاهش عرض مقطع جریان، سرعت جریان بیشتر می‌گردد و این به مفهوم کاسته شدن فشار در بين بالا دست آبشکن و مقطع جریان مقابل بال آبشکن می‌باشد. در دماغه آبشکن باعث تمرکز تنش می‌گردد و آبستگي از این ناحیه شروع می‌شود.

به منظور پی بردن به تأثیر این گردابه‌ها و تشخیص جهت آنها آزمایشی طراحی گردیده که در آن بستر اطراف آبشکن توسط یک صفحه فلزی الگوبرداری شده و ثابت گردیده است و بر روی آن مصالح بستر با چسب مخصوص چسبانده شده تا زبری آن معادل زبری بستر گردد. بدین ترتیب اجازه فرسایش از مصالح بستر گرفته شده است. تزریق مواد رنگی بیانگر این است که در ابتدای برخورد آب با آبشکن گردابه‌هایی هم جهت با عقربه‌های ساعت در بين بال بالادست و بدنه آبشکن ایجاد می‌گردد. در پايين دست آبشکن سرعت جریان کمتر می‌شود بدلیل اختلاف فشار بين بالادست و پايين دست آبشکن گردابه‌هایی ایجاد می‌گردد که در سطح جریان این مسئله با تزریق براده چوب به خوبی خود را نشان می‌دهد. این گردابه‌ها بدلیل ناپایداری وقتی به سمت پايين دست آبشکن می‌رود می‌شکند و تشکیل گردابه کوچکتري می‌دهد تا اینکه از بين می‌رود. اما گردابه‌های پایدار موجود در نزدیکی بستر در خلاف جهت عقربه‌های ساعت و محدوده بين بال پايين دست آبشکن و ساحل خارجی بعلاوه دیواره بال پايين دست عاملی جهت کاهش آبستگي در پايين دست آبشکن خواهد بود. گردابه‌های افقی شکل گرفته در نزدیکی کف بستر، پس از تعادل نهایی در مقایسه با گردابه‌ها در دماغه آبشکن در ابتدای آزمایش بیانگر معکوس شدن جهت آنها می‌باشد. در ابتدای آزمایش جریان در برخورد با آبشکن به ناحیه بين بدنه و بال بالادست می‌رود و تنها راه خروج آن چرخیدن و حرکت به

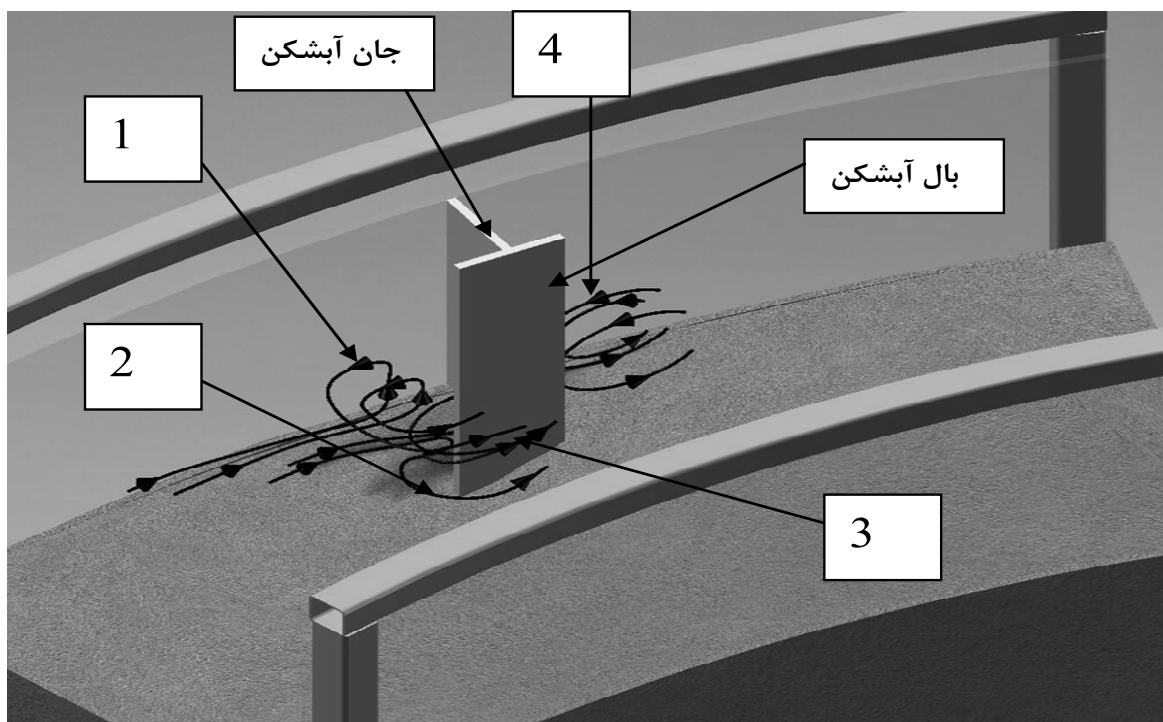
سمت دماغه آبشکن در جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد اما بعد از ایجاد حفره به دلیل اینکه حفره در ابتدا از نوک دماغه بال بالا دست شروع می‌شود و در ساحل خارجی و مخصوصاً کناره بدنه هنوز ارتفاع رسوبات بیشتر از ارتفاع رسوبات در نوک آبشکن است بنابراین حفره ایجاد شده در نوک دماغه جریان را به سمت رسوبات موجود در دیواره جابجا می‌کند و جهت جریان برعکس می‌شود و از آنجا حفره شروع به گسترش می‌کند. بعد از تشکیل آبستگي و رسیدن به حالت پایدار، مشاهدات کیفی الگوی جریان که با استفاده از تزریق مواد رنگی و حرکت روبان‌های رنگی انجام گرفته است نشان می‌دهد که خطوط جریان از سطح تراز بستر به صورت جریان‌های رو به بالا حالت گردابه‌های عمودی خواهند داشت و در سطح آب نیز حالت گردابه افقی در جهت عقربه‌های ساعت بخود می‌گیرند که این گردابه‌ها در شکل (۴) و با شماره ۱ نشان داده شده است، همچنین یکسری از خطوط جریان نزدیک سطح بستر نیز به صورت جریان رو به پايين حالت گردابه‌های عمودی دارند که این جریان‌ها در نزدیکی دماغه و بر روی شیب حفره آبستگي به صورت گردابه‌های افقی در خلاف جهت عقربه‌های ساعت شروع به چرخش می‌کنند و باعث بوجود آمدن شیب چاله آبستگي می‌شوند و شیب حفره آبستگي از ابتدای آزمایش که به صورت پایداری لحظه ای است به پایداری دائمی تبدیل می‌کنند این گردابه‌ها در شکل (۴) با شماره ۲ نشان داده شده است. در پايين چاله آبستگي نیز خطوط جریان به صورت گردابه‌هایی در صفحه مایل با شیب حدود ۳۰ درجه نسبت به افق تشکیل می‌گردد. این گردابه‌ها در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بوده و در شکل (۴) با شماره ۳ نشان داده شده است. همچنین گردابه‌های عمودی در پايين دست آبشکن تشکیل می‌شود که به علت فشار کمتر در نزدیکی دیواره آبشکن در جهت پاد ساعتگرد می‌باشد. این گردابه‌ها در شکل (۴) با شماره ۴ مشخص شده است. محل آبستگي بیشینه نیز در کلیه آزمایشات در فاصله حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد طول آبشکن از دماغه بال بالادست و در کنار دیواره داخلی بال قرار دارد.

عامل اصلی فرسایش در وجه بالادست آبشکن، گردابه‌های رو به پايين می‌باشد که باعث معلق شدن ذرات می‌شود. این گردابه با افزایش عمق آبستگي به تدریج مستهلک می‌گردد و در نهایت قدرت بلند کردن ذرات رسوب را ندارد. ضمن اینکه گردابه تشکیل شده در محل اتصال آبشکن با بستر باعث انتقال این ذرات می‌شود که با گود شدن چاله قدرت آن نیز کاهش می‌یابد. به همین دلیل وقتی عمق زیاد باشد و سرعت هم کم باشد (در اعداد فرود پايين) اصولاً مقدار آبستگي خیلی کاهش می‌یابد.

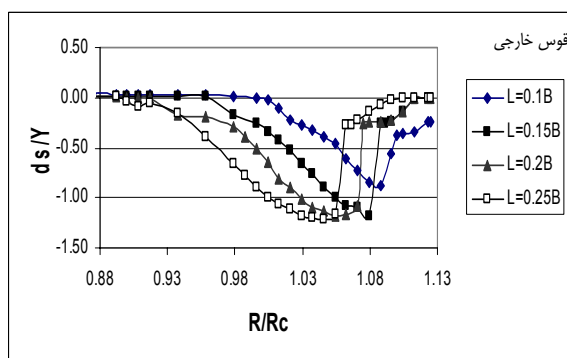
۲-۴- اثر طول آبشکن بر الگوی آبشستگی

با افزایش طول آبشکن میزان تنگ شدگی مقطع جریان افزایش می‌یابد، این امر باعث افزایش قدرت گردابه‌هایی که نزدیک بستر قرار دارد می‌شود و تنش برشی در دماغه آبشکن و محدوده بین دیواره بال بالادست آبشکن و بدنه آبشکن بیشتر می‌شود. این مسئله باعث افزایش آبشستگی می‌گردد. در شکل (۵) نمونه ای از پروفیل عرضی بستر بدون بعد در بالادست و بلافاصله در پایین دست

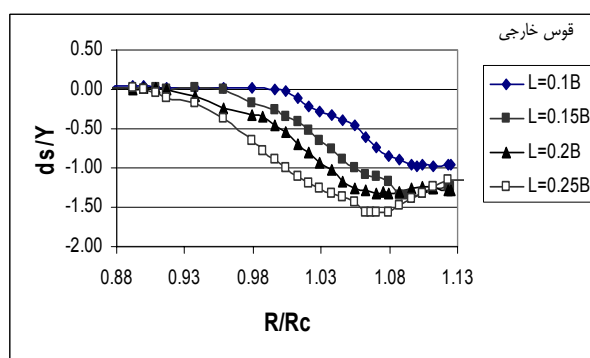
آبشکن در موقعیت ۴۵ درجه نشان داده شده است. در این R و Rc به ترتیب شعاع قوس در هر نقطه و شعاع مرکز قوس می‌باشد. شکل (۵-الف) نشان می‌دهد که با افزایش طول آبشکن حفره آبشستگی وسیع‌تر می‌شود. شکل (۵-ب) نیز بیانگر کاهش آبشستگی در مقطع عرضی پایین دست و در ساحل خارجی آبشکن در اثر افزایش طول آبشکن می‌باشد این در حالی است که ابعاد حفره آبشستگی افزایش می‌یابد.



شکل ۴- نمایش سه بعدی گردابه‌های تشکیل شده در هنگام تعادل حفره

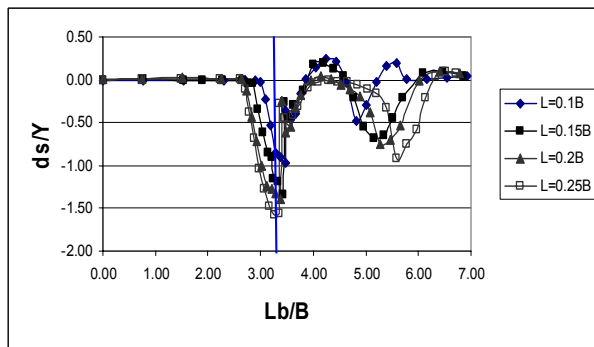


(ب)

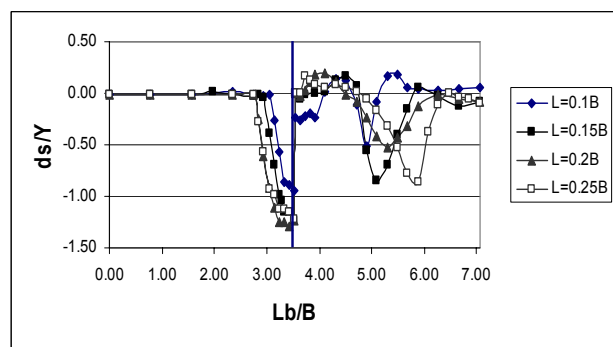


(الف)

شکل ۵- پروفیل عرضی بستر (الف) در بالادست آبشکن و (ب) در پایین دست آبشکن برای طول‌های مختلف آبشکن در موقعیت ۴۵ درجه



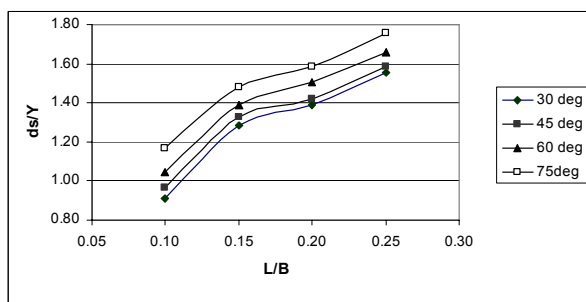
(ب)



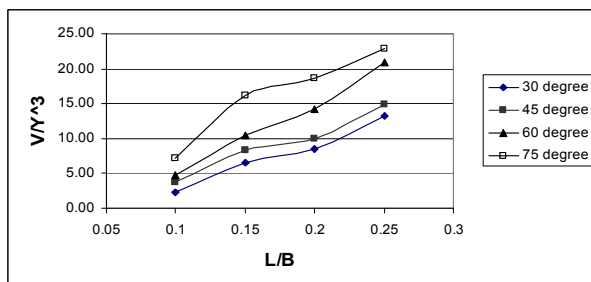
(الف)

شکل ۶- پروفیل طولی بستر (الف) در فاصله ۵ میلی متر از دیواره خارجی (ب) در محل آبستگي بیشینه برای طول‌های مختلف آبشکن در ۴۵ درجه

بدنه آبشکن ثابت و برابر واحد و عدد فرود جریان 0.34 است و نشان میدهد که با افزایش طول آبشکن به دلیل آبستگي موضعی بیشتر و افزایش قدرت حمل رسوبات، عمق بیشینه آبستگي و حجم چاله آبستگي بیشتر می‌شود. همچنین نتایج آزمایشات که در اینجا ارائه شده است نشان داد که پارامترهای a ، c ، d نیز با افزایش طول آبشکن روند صعودی از خود نشان می‌دهند.



(الف)

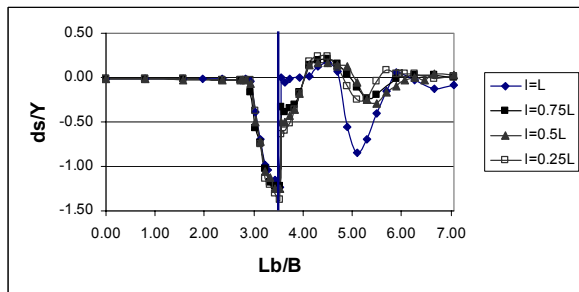


(ب)

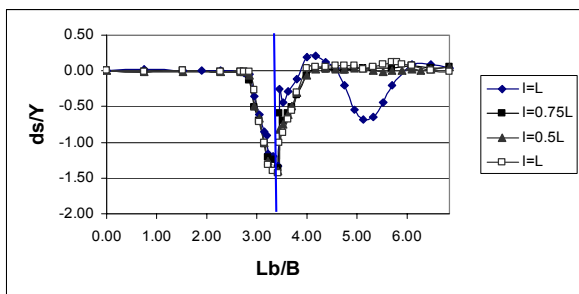
شکل ۷- (الف) عمق آبستگي بیشینه و (ب) حجم حفره آبستگي در برابر طول آبشکن در موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن

شکل (۶) نمونه‌ای از پروفیل طولی بستر بدون بعد در فاصله ۵ میلی متر از دیواره خارجی کانال و در محل آبستگي بیشینه از دیواره خارجی و برای طول‌های مختلف آبشکن را نشان می‌دهد. در این شکل Lb طول قوس را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشخص است در پایین دست آبشکن تا انتهای قوس پشته‌های رسوبی تشکیل شده که در پایین دست این پشته‌ها نیز چاله‌های آبستگي ناشی از ریزش جریان از روی پشته‌ها به سمت بستر اصلی و ایجاد گردابه در پایین این پشته‌های رسوبی می‌باشد. با افزایش طول آبشکن فاصله تشکیل پشته‌های رسوبی و چاله آبستگي واقع در پایین دست آنها از محل استقرار آبشکن افزایش می‌یابد. در پایین دست آبشکن با افزایش طول آبشکن ناحیه ماند جریان بیشتر می‌شود و منطقه بیشتری تحت حفاظت بال قرار می‌گیرد. در این منطقه قدرت جریان ثانویه و خطوط اصلی جریان و در نتیجه جریان حلزونی، بدلیل ممانعت بال و بدنه آبشکن از انتشار آنها کاهش می‌یابد. لذا گردابه‌های تشکیل شده در پایین دست پایدارتر بوده و بنابراین هر چه طول آبشکن بیشتر باشد آبستگي در این منطقه کمتر است. استقرار آبشکن‌ها در زوایای 30 ، 45 ، 60 درجه از قوس خارجی باعث آبستگي در بالادست و در فاصله بین 7 تا 11 برابر عمق جریان از آبشکن تولید چاله آبستگي دومی در بستر می‌نماید که با افزایش در طول آبشکن تا میزان 20 درصد عرض کانال عمق و ابعاد چاله دوم آبستگي افزایش می‌یابد ولی برای طول آبشکن برابر 25 درصد عرض کانال مقداری از رسوبات منتقل شده به پایین دست وارد چاله آبستگي دوم شده و باعث می‌شود از عمق چاله دوم کم شود. شکل (۷) نمونه‌ای از نمودار بدون بعد عمق نسبی آبستگي ds/Y و حجم نسبی حفره آبستگي V/V_3 در برابر L/B را برای آبشکن در موقعیت‌های مختلف نشان می‌دهد. این شکل مربوط به شرایطی است که نسبت طول بال آبشکن به طول

طول بال‌های متفاوت را نشان می‌دهد. این شکل بیانگر این است که با کاهش طول بال آبشکن مقطع پایین دست آبشکن نیز تحت تأثیر آبشستگی قرار می‌گیرد. شکل (۹) نمونه‌ای از پروفیل طولی بدون بعد در فاصله ۵ میلی متر از ساحل خارجی کانال و در فاصله محل آبشستگی بیشینه از دیواره خارجی کانال و برای طول‌های بال متفاوت را نشان می‌دهد. عدم وجود چاله دوم آبشستگی با عمق زیاد با کاهش طول بال آبشکن در شکل مذکور مشهود می‌باشد. وقتی طول بال آبشکن معادل طول بدنه آبشکن در نظر گرفته می‌شود ($L=$ بدلیل تجمع رسوبات در پایین دست آبشکن، جریان در پایین دست پشته رسوبی باعث افزایش عمق چاله دوم آبشستگی می‌شود. مقایسه توپوگرافی بستر نشان داد که با کاهش طول بال آبشکن گسترش چاله آبشستگی به سمت پایین دست افزایش می‌یابد. دلیل این امر کاهش طول دیواره حفاظتی بال آبشکن و حرکت سریع تر رسوبات به سمت پایین دست و تغییر موقعیت و ارتفاع پشته رسوبی در پایین دست آبشکن به سمت ساحل داخلی قوس بخصوص در ساعات اولیه آزمایش می‌باشد. در شکل (۱۰) نمودار بدون بعد عمق نسبی آبشستگی ds/Y و حجم نسبی حفره آبشستگی V/V_3 در برابر L/L برای آبشکن در موقعیت‌های مختلف نشان داده شده است. شکل (۱۰) نشان می‌دهد که با افزایش طول آبشکن عمق آبشستگی بیشینه و حجم چاله آبشستگی روند نزولی دارد.

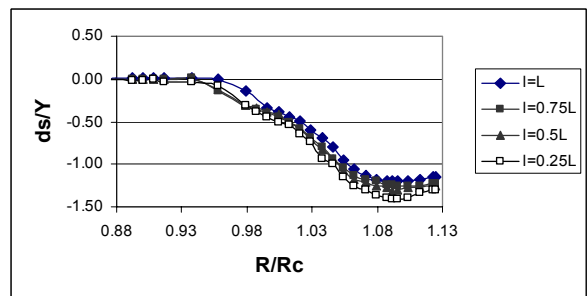


(الف)

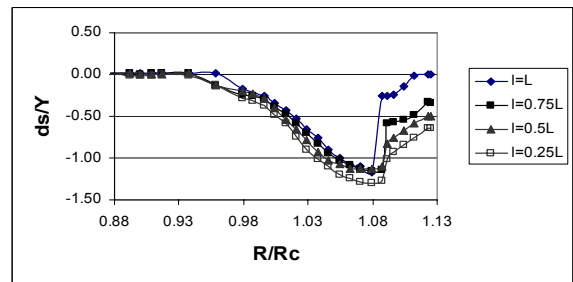


(ب)

شکل ۹- پروفیل طولی بستر (الف) در ۵ میلی متر از دیواره خارجی و (ب) در محل آبشستگی بیشینه برای طول‌های مختلف بال آبشکن در ۴۵ درجه



(الف)



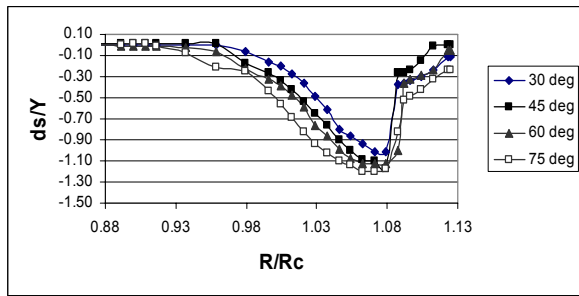
(ب)

شکل ۸- پروفیل عرضی بستر (الف) در بالادست آبشکن و (ب) در پایین دست آبشکن برای طول‌های مختلف بال آبشکن در موقعیت استقرار ۴۵ درجه

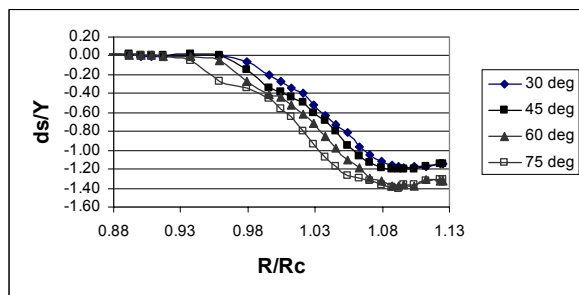
پارامتر e نیز برای آبشکن با طول‌های ۱۰ و ۱۵ درصد عرض کانال، بیانگر آبشستگی قابل توجه در پایین دست آبشکن است و برای طول‌های ۲۰ و ۲۵ درصد عرض کانال، بعلاوه حفاظت بال آبشکن از محدوده بین بال پایین دست و دیواره خارجی، آبشستگی ناچیز است. در شرایطی که طول آبشکن ثابت و معادل ۱۵ درصد عرض کانال در نظر گرفته شده است به بررسی تغییرات طول بال آبشکن پرداخته شد. نتایج نشان داد که با کاهش طول بال آبشکن T شکل از $L=1$ تا $L=0.25$ مقدار آبشستگی بیشینه افزایش می‌یابد. هر چه طول بال آبشکن بیشتر شود ناحیه بین دیواره بدنه و دیواره ساحل خارجی کانال توسعه می‌یابد و این مسئله باعث پایداری گرداب‌های تشکیل شده در این منطقه و انتقال رسوبات از ساحل خارجی بالادست به سمت دماغه بالادست بیشتر می‌شود و در نتیجه از آبشستگی بیشینه کاسته می‌شود. همچنین در پایین دست آبشکن نیز کاهش طول بال پایین دست باعث می‌شود که دیواره حفاظتی پایین دست کوچکتر شود و جریان اصلی ورودی از مسیر مستقیم به قوس این ناحیه را تحت تأثیر آبشستگی بیشتری قرار دهد.

۳-۴- اثر طول بال آبشکن بر الگوی آبشستگی

شکل (۸) نمونه‌ای از پروفیل عرضی بستر در بالادست و بلافاصله در پایین دست آبشکن مستقر در موقعیت ۴۵ درجه در قوس و برای

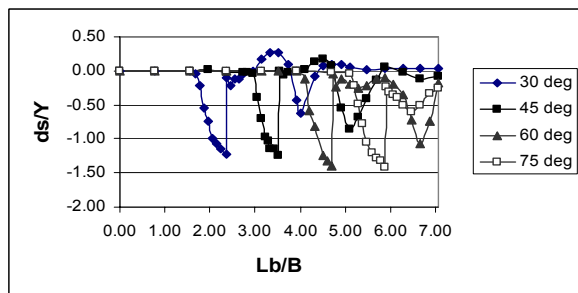


(الف)

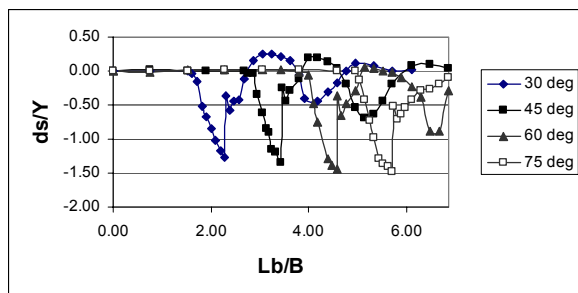


(ب)

شکل ۱۱- پروفیل عرضی بستر (الف) در بالادست آبشکن و (ب) در پایین دست آبشکن در برابر موقعیت استقرار مختلف آبشکن در طول قوس برای طول بدنه آبشکن و بال معادل ۱۵ درصد عرض کانال

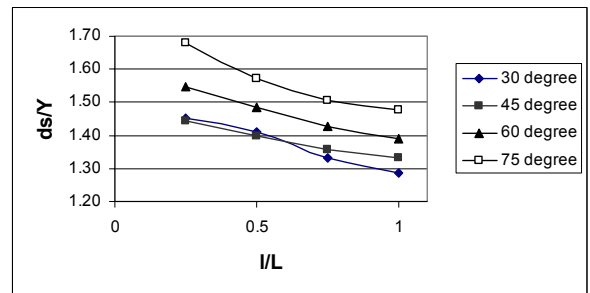


(الف)

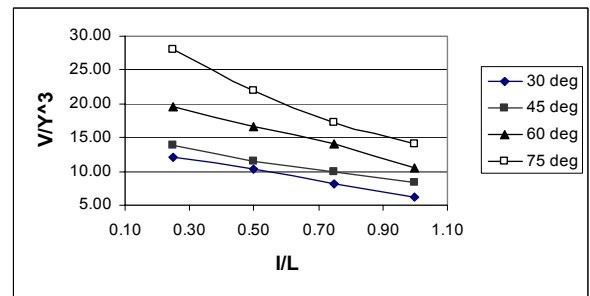


(ب)

شکل ۱۲- پروفیل طولی بستر (الف) در فاصله ۵ میلی متر از دیواره خارجی و (ب) در محل آبشستگی بیشینه در موقعیت متفاوت آبشکن برای طول بدنه آبشکن و طول بال معادل ۱۵



(الف)



(ب)

شکل ۱۰- (الف) عمق آبشستگی بیشینه و (ب) حجم حفره آبشستگی در برابر طول بال آبشکن در موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن

همچنین پارامترهای a ، c و d نیز با افزایش طول بال آبشکن بدلیل کاهش ابعاد حفره آبشستگی از روند نزولی برخوردارند.

۴-۴- اثر موقعیت آبشکن بر الگوی آبشستگی

با ثابت در نظر گرفتن نسبت طول آبشکن به طول بال آبشکن و تغییر موقعیت آبشکن در طول قوس (۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه از قوس خارجی) و در جهت جریان میزان آبشستگی بیشینه و حجم حفره آبشستگی افزایش می‌یابد. شکل (۱۱) نمونه ای از پروفیل عرضی بستر در بالادست و بلافاصله پایین دست آبشکن با طول آبشکن معادل ۱۵ درصد عرض کانال و طول بال برابر با طول آبشکن و در موقعیت‌های استقرار مختلف را نشان می‌دهد. این شکل بیانگر افزایش ابعاد حفره آبشستگی با تغییر موقعیت آبشکن بسمت انتهای قوس می‌باشد.

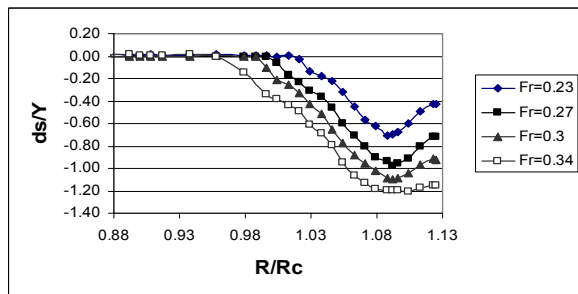
شکل (۱۲) نیز نمونه ای از پروفیل طولی بدون بعد بستر در فاصله ۵ میلی متر از دیواره خارجی کانال و در فاصله محل آبشستگی بیشینه از ساحل خارجی کانال و در موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن با طول بال و بدنه معادل ۱۵ درصد عرض کانال را نشان می‌دهد.

درصد عرض کانال

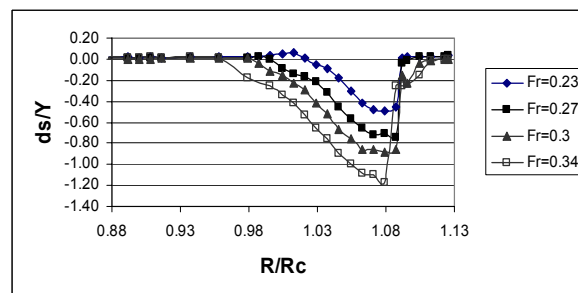
همچنین نتایج نشان داد که برای آبشکن با طول معادل ۲۰ درصد عرض کانال در موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن، میزان آبشستگی تقریباً ثابت است.

۴-۵- اثر عدد فرود جریان بر الگوی آبشستگی

با افزایش عمق جریان و با توجه به ثابت بودن دبی عدد فرود جریان کاهش می‌یابد. دامنه تغییرات عدد فرود از مقدار ۰/۲۳ تا ۰/۳۴ می‌باشد. با کاهش عدد فرود، عمق جریان افزایش و سرعت جریان کاهش می‌یابد. با کم شدن سرعت جریان میزان تنش برشی کمتر می‌شود و قدرت گردابه‌های نزدیک بستر کاهش می‌یابد و از میزان آبشستگی در دماغه بالادست آبشستگی کاسته می‌شود و باعث می‌گردد که حجم و ابعاد حفره‌های آبشستگی نیز کوچکتر شود. شکل (۱۴) نمونه‌ای از پروفیل عرضی بدون بعد بستر در بالادست و پایین دست آبشکن را نشان می‌دهد. این شکل بیانگر کاهش حجم آبشستگی با کاهش عدد فرود جریان می‌باشد. و عدم آبشستگی در ساحل خارجی پایین دست آبشکن نیز در شکل (۱۴-ب) مشهود است. همچنین شکل (۱۵) پروفیل طولی بدون بعد بستر در فاصله ۵ میلی متر از دیواره خارجی کانال و محل آبشستگی بیشینه از دیواره خارجی را نشان می‌دهد.

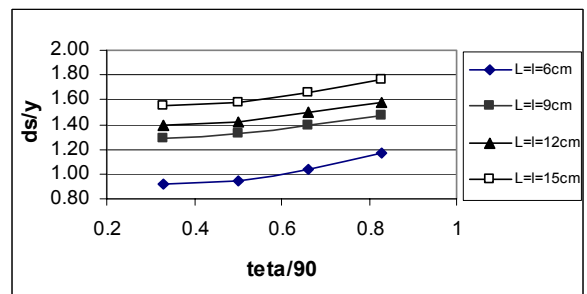


(الف)

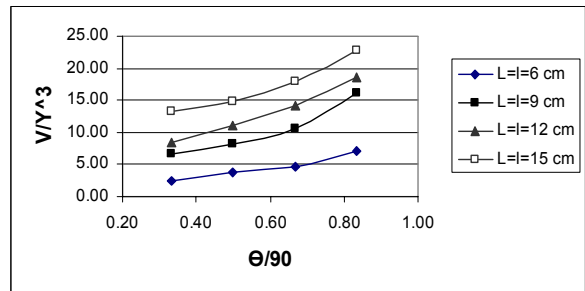


(ب)

شکل ۱۴- پروفیل عرضی بستر (الف) در بالا دست آبشکن و (ب) در پایین دست آبشکن برای اعداد فرود مختلف و در موقعیت استقرار ۴۵ درجه



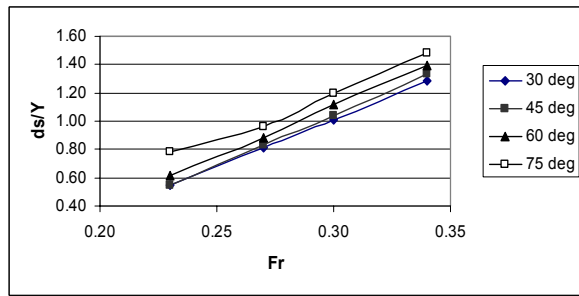
(الف)



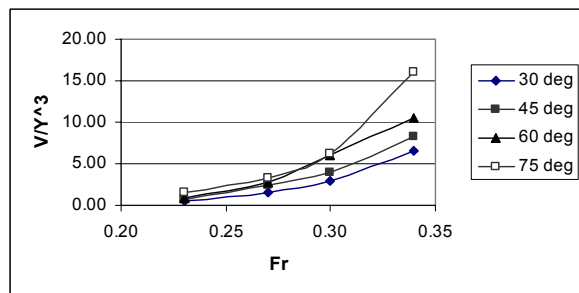
(ب)

شکل ۱۳- (الف) عمق آبشستگی بیشینه و (ب) حجم حفره آبشستگی در برابر موقعیت استقرار مختلف آبشکن در طول قوس

همانطور که از شکل (۱۲) مشخص است در موقعیت‌های استقرار ۳۰ و ۴۵ درجه رسوبگذاری در ساحل خارجی بیشتر می‌باشد که دلیل آن برخورد خط جریان از مسیر مستقیم به زاویه بین ۳۰ و ۴۰ درجه از قوس می‌باشد، این عامل باعث می‌شود رسوباتی که از درون چاله آبشستگی به خارج منتقل می‌شوند به سمت ساحل خارجی که محل برخورد خطوط جریان از مسیر مستقیم به قوس می‌باشد تمایل پیدا نماید اما در موقعیت‌های استقرار انتهایی قوس رسوبات خارج شده از چاله آبشستگی در جهت جریان حمل شده و به همین دلیل توزیع رسوبات در عرض کانال به صورت متقارن تر انجام می‌گیرد. در شکل (۱۳) نمودار بدون بعد عمق نسبی آبشستگی ds/Y و حجم نسبی حفره آبشستگی V/Y^3 در برابر زاویه استقرار آبشکن نشان داده شده است. روشن است که با تغییر موقعیت آبشکن بسمت بالا دست، حداکثر عمق آبشستگی و حجم چاله آبشستگی افزایش می‌یابد. که این روند صعودی در زاویه ۷۵ درجه از نرخ بیشتری برخوردار است. همچنین توپوگرافی بدون بعد شده بستر با عمق جریان بیانگر افزایش ابعاد هندسه چاله آبشستگی و پارامترهای a ، c ، d به سمت بالادست قوس می‌باشد. این در حالی است که پارامتر e از روند متفاوتی برخوردار است و در مورد آبشکن با طول ۲۵ درصد عرض کانال عدم آبشستگی و ایجاد رسوبگذاری مشاهده شد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۶- (الف) عمق آبشستگی بیشینه و (ب) حجم حفره آبشستگی در برابر عدد فرود جریان در موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن

همچنین پارامترهای a ، c و d با افزایش عدد فرود جریان بدلیل افزایش ابعاد چاله آبشستگی روند صعودی از خود نشان می‌دهند. در پایین دست آبشکن نیز پارامتر e در اعداد فرود ۰/۲۳ و ۰/۲۷، ناچیز است.

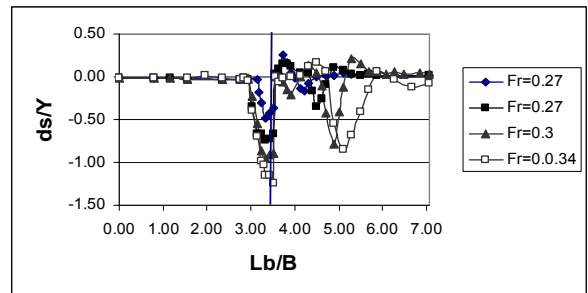
۵- روابط کلی در محاسبه ابعاد حفره آبشستگی

بررسی نتایج آزمایشات نشان داد که مقادیر پارامترهای بررسی شده با توجه به تاثیر آنها بر روی عمق آبشستگی شکل توانی خواهند داشت و در نتیجه رابطه (۳) به صورت زیر تغییر خواهد کرد:

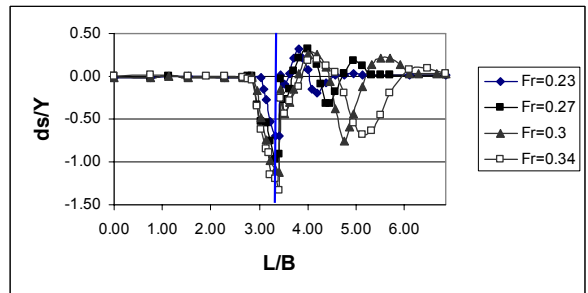
$$\frac{ds}{Y} = a \left(\frac{L}{B}\right)^b \left(\frac{l}{L}\right)^c \left(\frac{\theta}{90}\right)^d \left(\frac{t}{t_e}\right)^e (Fr)^f \quad (4)$$

که در آن ضرایب ثابت مقادیر تجربی هستند که با استفاده از داده‌های آزمایشی به دست خواهد آمد. مقادیر تجربی فوق بر اساس روش کمترین مربعات محاسبه گردید و نهایتاً معادله (۴) پس از ساده سازی برای عمق آبشستگی به صورت زیر تبدیل می‌شود.

$$\frac{ds}{Y} = 25.7 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.42} \left(\frac{l}{L}\right)^{-0.1} \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.16} (Fr)^{1.9} \quad (5)$$



(الف)



(ب)

شکل ۱۵- پروفیل طولی بستر (الف) در فاصله ۵ میلی متر از دیواره خارجی و (ب) در محل آبشستگی بیشینه برای اعداد فرود مختلف و در موقعیت ۴۵ درجه

با توجه به شکل فوق و مشاهدات آزمایشگاهی می‌توان گفت که با کم شدن عدد فرود جریان، قدرت حمل رسوب از داخل چاله آبشستگی کمتر شده و پشته‌های رسوبی دارای حرکت کمتری خواهند بود. در اعداد فرود پایین، پشته رسوبی تشکیل شده قدرت حرکت جلو رونده را نداشته و رسوبات در انتهای دیواره بال آبشکن جمع می‌شوند. این به ایجاد یک ناحیه سکون و عدم وارد شدن جریان به این ناحیه کمک می‌کند و جریان‌هایی که ناشی از مکش بوجود آمده در پایین دست آبشکن بوجود می‌آیند در حرکت به سمت بالادست به این رسوبات برخورد کرده و رسوبات را در همانجا نگه می‌دارند بهمین دلیل میزان آبشستگی در پایین دست آبشکن در اعداد فرود کمتر از ۰/۳، کاهش می‌یابد.

شکل (۱۶) نمودار بدون بعد عمق نسبی آبشستگی ds/Y و حجم نسبی حفره آبشستگی V/Y^3 در برابر Fr را در موقعیت‌های مختلف نشان می‌دهد و بیانگر روند صعودی حداکثر عمق آبشستگی و حجم چاله آبشستگی با افزایش عدد فرود جریان می‌باشد. توپوگرافی بستر نیز نشان دهنده تغییرات کمتر تراز بستر در پایین دست آبشکن می‌باشد.

مقدار ضریب همبستگی این معادله برابر $0/88$ می‌باشد. شکل (۱۷)
مقایسه بین مقادیر محاسبه شده با استفاده از معادله (۵) و مقادیر

اندازه گیری شده عمق بیشینه آبستگي نسبي را نشان می دهد که بیانگر دقت قابل قبول معادله (۵) می باشد.

به روش مشابه معادلات زیر را جهت تعیین حجم چاله آبستگي V پیشروی چاله به سمت بالادست c ، پیشروی چاله به سمت پایین دست d و پیشروی عرضی چاله a بدست آمد:

$$\frac{V}{Y^3} = 25.7 \exp\left(\frac{\theta}{56.3}\right) \left(\frac{L}{B}\right) \left(\frac{l}{L}\right)^{-0.44} (3Fr)^{6.44} \quad (6)$$

$$\frac{c}{Y} = 25.7 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.46} \left(\frac{l}{L}\right)^{-0.02} \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.14} (1.65Fr)^{1.72} \quad (7)$$

$$\frac{d}{Y} = 25.7 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.68} \left(\frac{l}{L}\right)^{-0.59} \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.32} (3Fr)^{5.64} \quad (8)$$

$$\frac{a}{Y} = 25.7 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.6} \left(\frac{l}{L}\right)^{-0.07} \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.17} (2Fr)^{1.83} \quad (9)$$

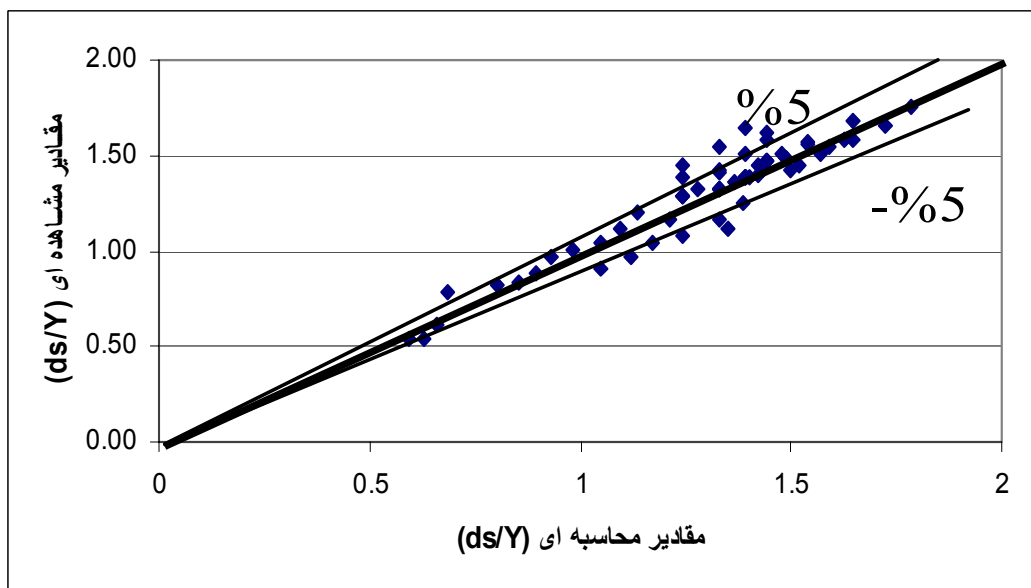
مقادیر ضریب همستگي معادلات (۶)، (۷)، (۸) و (۹) به ترتیب برابر ۸۵، ۸۱، ۸۳، و ۸ می باشد.

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق آزمایشات جهت تعیین الگوی آبستگي در اطراف آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه با رویکرد به مطالعه کیفی الگوی جریان انجام گرفته است. متغیرهای موثر در این تحقیق

طول آبشکن، طول بال آبشکن، موقعیت استقرار آبشکن در قوس و عدد فرود جریان بوده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که:

- گردابه های قائم ایجاد شده در بالادست آبشکن با محور افقی در راستای شعاع قوس در تراز بستر به سمت دماغه آبشکن به صورت جریان رو به پایین و در تراز بستر به سمت سطح آب به صورت جریان رو به بالا می باشد
- گردابه های افقی ایجاد شده در بالادست آبشکن با محور عمودی در حرکت به سمت پایین دست آبشکن ریزتر شده و از بین می رود.
- در پایین دست آبشکن جریان بازگشتی به سمت آبشکن وجود دارد و بال آبشکن از برخورد جریان قوس با جریان های بازگشتی موجود در این منطقه جلوگیری می کند و این باعث کاهش آبستگي در پایین دست آبشکن می گردد.
- با افزایش طول آبشکن، آبستگي بیشینه و ابعاد چاله آبستگي بیشتر می شود، در حالیکه از میزان آبستگي در پایین دست آبشکن و در ساحل خارجی کاسته می شود.
- با کاهش طول بال آبشکن، آبستگي بیشینه و ابعاد چاله آبستگي بیشتر می شود. همچنین آبستگي پایین دست آبشکن گسترش پیدا می کند. و این موضوع بیانگر آبستگي بیشتر پیرامون آبشکن های معمولی می باشد.
- با تغییر موقعیت استقرار آبشکن به سمت پایین دست قوس، آبستگي بیشینه و ابعاد چاله آبستگي بیشتر می شود، همچنین آبستگي پایین دست آبشکن گسترش پیدا می کند.



شکل ۱۷- مقایسه بین مقادیر محاسبه ای و مشاهده ای عمق آبستگي بیشینه نسبت به عمق جریان

Forghani M. J., Fazli, M. and Ghodsian, M, (2007). "Experimental study on flow field and scouring around a spur dike in ninety degree bend." *32nd Congress of IAHR*, Venice, Italy. pp. 301-309.

Gill, M. A. (1972). "Erosion of sand beds around spur dikes." *J. Hydraul. Div.*, 98(9), pp. 91-98.

Giri S., Shimizu Y. and Surajata B. (2004). "Laboratory Measurement and Numerical Simulation of Flow and Turbulence in a Meandering-Like Flume with Spurs". *Flow Measurement and Instrumentation*, 15, pp. 301-309.

Mesbahi J. (1992). "On Combined Scour Near Groyne in River Bends", M. Sc. Thesis. Netherlands. Delft University

Soliman M. M. & Attia K. M. & Kotb, Talaat A. M. & Ahmed A. F. (1997). "Spur Dike Effects on the River Nile Morphology after High Aswan Dam" *Congress of the International Association of Hydraulic Research*, LAHR, 120 (9), pp. 125-146

Tingsanchali, T., Maheswaran, S. (1990). "2-D Depth-Averaged Flow computation Near Groin" *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 116(1), pp. 71-86.

- با افزایش عدد فرود جریان آبستگي بیشینه و ابعاد چاله آبستگي بیشتر می شود و آبستگي پایین دست آبشکن نیز گسترش پیدا می کند.
- محل آبستگي بیشینه در کلیه آزمایشات در فاصله حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد طول آبشکن از دماغه بال بالادست آبشکن و در کنار دیواره داخلی بال است.
- معادلاتی مناسب جهت تعیین ابعاد حفره آبستگي حول آبشکن T شکل ارائه گردیده است.

۷- مراجع

Ahmad, M., (1951). Spacing and protection of spurs for bank protection. *Civil Engineering and Publication review*, pp. 3-7.

Fazli, M. Ghodsian, M. and Salehi, S.A.A., (2007). "Experimental investigation on scour around spur dikes located at different positions in a 90° bend." *32nd Congress of IAHR*, Venice, Italy. pp. 248-256.

Fazli M., Ghodsian M. and Salehi S.A. (2008), "Scour and flow field around a spur dike in a 90° bend". *International Journal of Sediment Research*. Vol.23, No.1, pp. 56-68.