

## بررسی آزمایشگاهی اثر شکل آبشکن در کنترل آبستگی سری آبشکن در خم رودخانه

بهنام منصوری<sup>1\*</sup>، علی حسین زاده دلیر<sup>2</sup>، داود فرسادی زاده<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 93/03/18 تاریخ پذیرش: 94/07/04

<sup>1</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>2</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>3</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [behnam.mansuri@yahoo.com](mailto:behnam.mansuri@yahoo.com)

### چکیده

این تحقیق به منظور کاهش ابعاد و هزینه‌های آبشکن با ایجاد بریدگی در لبه ابتدایی آن انجام پذیرفت. برای این منظور از مدل فیزیکی سری آبشکن در خم رودخانه استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در آزمایش سری آبشکن های بدون تغییر شکل دماغه (حالت مبنا) در قوس رودخانه آبستگی از دماغه آبشکن شروع می‌شود. در حالت کلی در همه بریدگی‌ها با کاهش سطح آبشکن، سرعت جریان در جلوی آبشکن کاهش می‌یابد. این امر باعث کاهش تنش برشی در مقاطع بالادست آبشکن و در نهایت باعث کاهش عمق آبستگی می‌شود. نتایج نشان داد که آبشکن با شکل هندسی جدید ( $L=5.5, \theta=85, \phi=30, e$ ) می‌تواند تا 89 درصد عمق آبستگی در دماغه آبشکن را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: آبستگی، خم رودخانه، سری آبشکن، شکل آبشکن

## Experimental Study of Shape of Spur Dikes in Series to Control Scour in River Bends

B Mansuri<sup>\*1</sup>, A Hosseinzadeh Dalir<sup>2</sup>, D Farsadizadeh<sup>3</sup>

Received: 08 June 2014

Accepted: 26 September 2015

<sup>1</sup> Former M.Sc. Student, Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

<sup>2</sup> Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

<sup>3</sup> Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

\*Corresponding Author, Email: [behnam.mansuri@yahoo.com](mailto:behnam.mansuri@yahoo.com).

### Abstract

This research was conducted to minimize the dimensions and costs of spur dikes through cutting the edge of them. For this propose, a physical model of spur dikes in series in river bend was employed. The results of tests for spur dikes in series without any changes in their nose shape showed that the local scour commenced from the nose of spur dikes. Generally, in all spur dikes with new shape, as the spur dike surface reduced, the approach flow velocity in front of the spur dike was also reduced. The new shape decreased the shear stress in the upstream of the spur dike and reduced the scour depth. The results also showed that the new shape of the spur dikes ( $L=5.5, \theta=85, \phi=30, e$ ) was able to reduce the scour depth at the nose of the spur dike up to 89 percent.

**Keywords:** River Bend, Scour, Series of spur dike, Spur dike shape

### مقدمه

در قوس و الگوی جریان اطراف آبشکن و تأثیر جریان حلزونی در قوس‌ها است. در این بین پی بردن به هیدرودینامیک جریان می‌تواند از نظر کاربردی بسیار پر اهمیت باشد (واقفی و قدسیان 1389). وجود سازه آبشکن در مسیر جریان، باعث ایجاد جریان آشفته چرخشی و گردابی در اطراف آن خواهد شد. این جریان‌های گردابی به همراه تمرکز شدید سرعت‌ها و آشفتگی در دماغه بالادست، مکانیزم اصلی آبشستگی موضعی به حساب می‌آیند. ترکیب این عوامل منجر به برداشته شدن مواد بستر از حوالی آبشکن یا تکیه‌گاه و توسعه یک حفره آبشستگی شده که در درازمدت باعث ایجاد حفره‌های بزرگ در محل دماغه آبشکن و در نهایت احتمال شکست سازه را به دنبال خواهد داشت. به همین دلیل با کنترل و محافظت از این سازه در برابر آبشستگی و ارائه روش‌های مناسب کاهش آبشستگی می‌توان از این خسارات پیشگیری کرد. شکل 1

وقوع آبشستگی و فرسایش در قوس رودخانه‌ها ناشی از اندرکنش جریان‌های ثانویه و دانه‌بندی رسوبات و جریان اصلی 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، فرسایش‌پذیری دیواره‌ها و بستر بلکه به جریان گردابی ثانویه که در محل خم به وجود می‌آید بستگی دارند (واقفی و همکاران 1387). در این بین یکی از راه‌های تثبیت ساحل خارجی رودخانه‌ها استفاده از آبشکن است. هنگامی که از آبشکن‌ها برای محافظت جداره رودخانه در خم‌ها و یا برای اهدافی دیگر نظیر حفظ الگوی جریان استفاده می‌شود، تحلیل جریان و آبشستگی در اطراف آبشکن‌های استفاده‌شده در قوس خارجی بسیار پیچیده‌تر و مشکل‌تر می‌شود. دلیل آن اندرکنش بین الگوی جریان

نتیجه رسیدند که جریان شکل گرفته پیرامون آبشکن T شکل، منجر به تشکیل دو گردابه پاد ساعت‌گرد در بالادست و پایین‌دست آبشکن می‌شود. سلیمان و همکاران (1997) تأثیر آبشکن‌ها را بر مورفولوژی رودخانه نیل بررسی نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیشینه اغتشاش در جهت طولی در پشت آبشکن غیرمستغرق، در فاصله حدود 6 برابر طول آبشکن در آبشکن باز 2 ردیفه و حدود 8 برابر طول آبشکن متخلخل هست. خسروی‌نیا و همکاران (1390) با بررسی در مورد تأثیر طوق در کاهش آبشستگی اطراف آبشکن‌ها نشان دادند که با افزایش عرض طوق، عملکرد طوق در کاهش عمق و افزایش تأخیر زمانی آبشستگی بیشتر می‌شود. دهقانی و همکاران (1388) با مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی موضعی اطراف سری آبشکن‌های L شکل نشان دادند که بیشینه عمق آبشستگی در اطراف آبشکن اول اتفاق می‌افتد و هر چه قطر متوسط ذرات بستر افزایش یابد، میزان بیشینه عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. مونکادا و همکاران (2009) به بررسی عملکرد طوق و شکاف در کنترل آبشستگی در پایه‌های استوانه‌ای پرداختند. آن‌ها بیان نمودند استفاده از شکاف باعث کاهش آبشستگی می‌شود به گونه‌ای که افزایش طول شکاف از سطح آب به روی بستر موجب کاهش عمق آبشستگی بین 48 تا 85 درصد و افزایش طول شکاف از سطح بستر به سطح آب موجب کاهش بین 60 تا 88 درصد می‌گردد. عزیزی و همکاران (1391) با بررسی تأثیر شکل صفحه مستغرق بر آبشستگی موضعی و الگوی رسوب‌گذاری در کانال‌های آبرفتی نشان دادند که بریدگی لبه ابتدایی صفحات مستغرق در کاهش عمق آبشستگی پیرامون صفحات مؤثر هست. آن‌ها همچنین دریافتند که با افزایش زاویه بریدگی، عمق آبشستگی و ابعاد چاله فرسایشی کاهش می‌یابد. بیشینه کاهش عمق چاله فرسایشی، به ازای بریدگی  $60^\circ$  در لبه ابتدایی صفحات و نسبت به صفحه مستطیلی ساده، در اعداد فرود 0/14 و 0/16 به ترتیب 33 و 49 درصد و در اعداد فرود

آبشستگی موضعی در آبشکن با دیواره عمودی را نشان می‌دهد. از جمله روش‌های کاهش آبشستگی، اصلاح الگوی جریان است که با تغییر الگوی جریان، شدت گردابه‌های ایجاد شده در اطراف آبشکن کاهش می‌یابد. یکی از این روش‌ها، استفاده از صفحات مستغرق است. کوسپاری و رانگا راجو (2001) نشان دادند که الگوی پروفیل سطح آب متناسب با طول آبشکن و توپوگرافی کف است. همچنین منحنی برگشت آب با شیب زیاد در بالادست و پایین‌دست آبشکن، عامل اصلی غلظش سطحی آب در جهت بالادست است. گیری و همکاران (2004) به بررسی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی جریان و آشفتگی در فلومی شبیه به رودخانه‌های مئاندری با وجود آبشکن‌های غیرمستغرق پرداختند. آن‌ها در اطراف آبشکن میدان گردابه‌ها و شدت آشفتگی را به صورت دو بعدی اندازه‌گیری نمودند. فضلی و همکاران (2008) آزمایش‌هایی را به منظور بررسی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون آبشکن تیغه‌ای در قوس قائم با شعاع مرکزی 2/5 متری انجام دادند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که وقتی آبشکن در موقعیت 30 درجه قرار دارد، عرض خط جدایی در نزدیکی سطح آب به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد. کوهنل و همکاران (2008) به بررسی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان پیرامون یک آبشکن مستغرق و تیغه‌ای در مسیر مستقیم و در سمت چپ ساحل پرداختند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که سرعت جریان در نزدیکی بستر به آرامی به سمت راست سازه افزایش و با فاصله گرفتن از بستر کاهش می‌یابد. واقفی و قدسیان (1389) با بررسی الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس 90 درجه با بستر متحرک نشان دادند که در طول بستر و در پایین‌دست آبشکن، علاوه بر چاله آبشستگی پیرامون آبشکن، چاله آبشستگی دومی نیز تشکیل می‌شود. موسوی نائینی و همکاران (1391) با بررسی بر روی تأثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس 90 درجه و در سمت چپ ساحل با بستر صلب به این

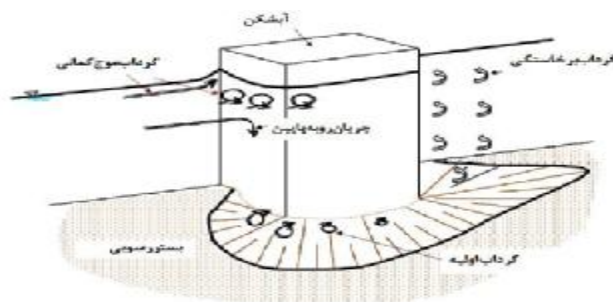
بریدگی در لبه ابتدایی آن هست تا آبشستگی و هزینه‌های مربوطه کاهش یابد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز و در کانال مستطیلی فلزی - شیشه‌ای به طول 6 متر، عرض 80 سانتی‌متر و ارتفاع 50 سانتی‌متر، انجام شد. پلان کانال آزمایشگاهی در شکل 3 نشان داده شده است. شیب کانال آزمایشگاهی قابل‌تغییر بوده و برای انجام آزمایش‌ها در روی شیب صفر تنظیم شد. کانال در قسمت ابتدایی و انتهایی دارای مخزن است که در مخزن انتهایی یک سرریز مستطیلی تعبیه شده است که برای اندازه‌گیری دبی از آن استفاده می‌شود. آب موردنیاز کانال توسط یک پمپ با بیشینه دبی 100 لیتر بر ثانیه در یک مدار بسته تأمین می‌شود. برای تنظیم دبی خروجی از موتور پمپ، از شیر فلکه تعبیه شده قبل از دهانه ورودی به مخزن بالادست استفاده می‌گردد. به منظور اجرای آزمایش‌های رسوب تغییراتی شامل ایجاد کف کاذب و بستر متحرک در کانال آزمایشگاهی داده شد. بدین‌صورت که کف کانال توسط سکوها فلزی به ارتفاع 15 سانتی‌متر و عرضی برابر با عرض کانال بالا آورده شد (کف کاذب). بین سکوها محدوده‌ای به طول 3 متر که ابتدای آن در فاصله 2 متری از ابتدای کانال قرار داشت، به‌عنوان منطقه مورد آزمایش منظور شد و به همان ارتفاع سکوها با رسوبات غیرچسبنده پر گردید. ذرات ماسه‌ای غیرچسبنده با قطر متوسط 0/99 میلی‌متر و چگالی نسبی 2/65 با انحراف معیار هندسی 1/15 مورد استفاده قرار گرفت.

انجام آزمایش‌ها در شرایط آب زلال با دبی 13/93 لیتر بر ثانیه و عمق آب 15/5 سانتی‌متر انجام شد. زمان انجام آزمایش برای همه آزمایش‌ها 5 ساعت منظور گردید. مدل خم رودخانه به عرض 35 سانتی‌متر در داخل کانال آزمایشگاهی با شعاع خارجی و داخلی

0/18 و 0/20 به ترتیب 43 و 28 درصد تعیین شد. همچنین بیشترین کاهش عمق آبشستگی در لبه ابتدایی صفحات، در بریدگی 60 درجه صفحات مشاهده شد. بر اساس نظر دپارتمان منابع طبیعی آیوا (2006) صفحات مستغرق آیوا (شکل 2) در جریان‌های با سرعت بالای 3 فوت بر ثانیه و در عمق آب بیشتر از 4 فوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. صفحات آیوا هزینه‌های اجرایی متوسط و هزینه‌های نگهداری پایینی دارند و در شیب‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر از 6:1 مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر آن نصب صفحات باید از عرض‌های کم در بالادست قوس رودخانه، که در آن فرسایش به وجود آمده است، انجام گیرد. در قرارگیری سری صفحات بین هر صفحه باید فاصله 15 تا 30 برابر ارتفاع صفحه وجود داشته باشد.



شکل 1- آبشستگی موضعی در آبشکن با دیواره عمودی (گراف 1996).

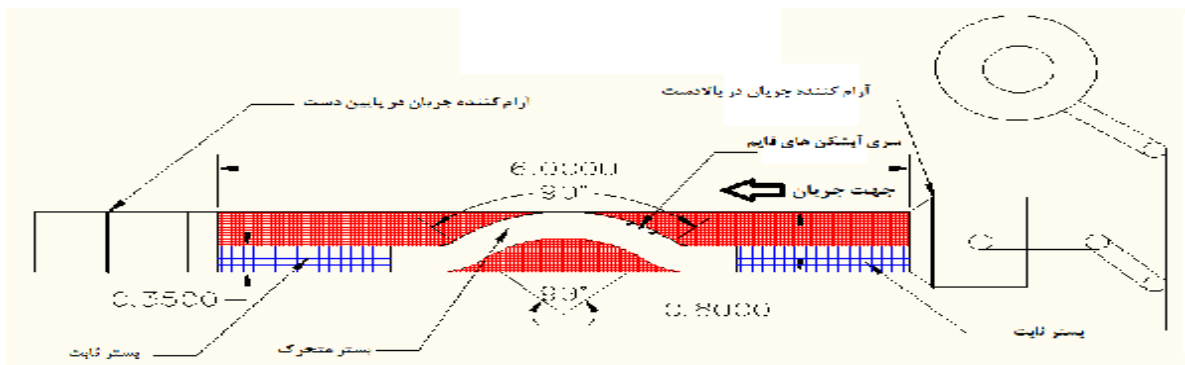


شکل 2- نصب صفحات آیوا بتنی در رودخانه کم‌عمق (بی‌نام 2006).

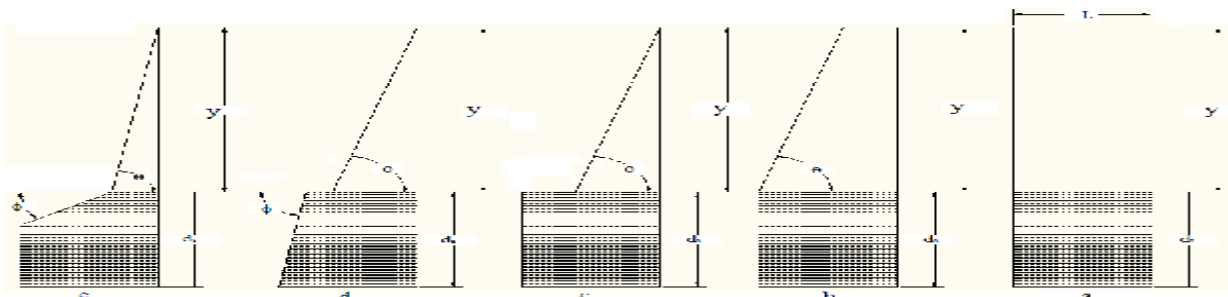
هدف از این تحقیق با ایده گرفتن از شکل صفحات مستغرق آیوا اصلاح شکل آبشکن با ایجاد

(c) با تورفتگی بریدگی در لبه ابتدایی آبشکن به طول 5/5 سانتی‌متر و با زاویه‌های 80 و 85 درجه را نشان می‌دهد. در حالت‌های (d) و (e) علاوه بر زاویه داخلی آبشکن ( $\theta$ )، زاویه خارجی آبشکن ( $\phi$ ) نیز در داخل بستر در نظر گرفته شد. به طوری که در حالت (d) برای آبشکن با طول 5/5 سانتی‌متر برای هر دو زاویه داخلی و خارجی دو مقدار 80 و 85 درجه منظور شده و در حالت (e) برای آبشکن با طول 5/5 سانتی‌متر زاویه داخلی ( $\theta$ ) 85 درجه و زاویه خارجی ( $\phi$ ) 10، 20 و 30 درجه در نظر گرفته شد. شایان‌ذکر است که قسمت هاشور خورده در شکل 4 بخشی از آبشکن است که در زیر تراز بستر قرار گرفته است.

به ترتیب 1/35 و 1 متر ساخته شد. آزمایش‌های شاهد با قرار دادن سه آبشکن قائم از جنس پلاکسی گلاس با زاویه 120 درجه نسبت به خطوط جریان در نیمه اول قوس با طول آبشکن 5/5 سانتی‌متر و ضخامت 2 میلی-متر، با فاصله‌های یکسان ( $S=3L$ ) در قوس خارجی رودخانه انجام پذیرفت (حالت a در شکل 4). لازم به ذکر است که اولین آبشکن در فاصله 36 سانتی‌متری از ابتدای قوس خارجی نصب شده است. شکل 4 انواع مختلفی از مدل‌های بکار رفته در آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. حالت (b) آبشکن به طول 5/5 سانتی‌متر با زوایای مختلف بریدگی ( $\theta = 85, 80, 70$  درجه) در لبه ابتدایی آبشکن (دماغه آبشکن) را نشان می‌دهد. حالت



شکل 3- پلان کانال آزمایشگاهی.



شکل 4- انواع مختلفی از مدل‌های بکار رفته در آزمایش‌ها.

انتهای آزمایش، توپوگرافی حفره هر یک از آبشکن‌ها، با شبکه‌بندی حفره آبشکن‌ها و اندازه‌گیری ارتفاع نقاط شبکه با استفاده از سطح سنج لیزری، که در شکل 5 نمایش داده شده است، تهیه گردید.

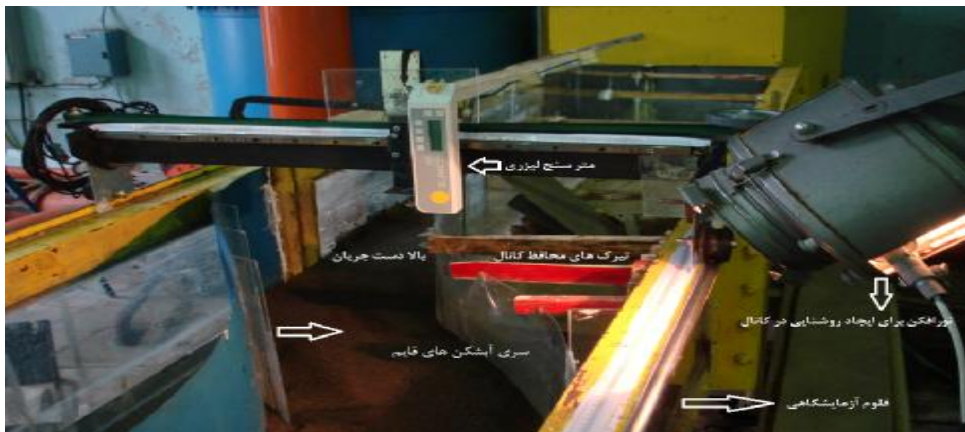
در اثر آبشستگی حفره‌ای در دماغه آبشکن‌ها ایجاد می‌شود. ابعاد حفره آبشستگی شامل طول، عرض و عمق هست. طول ( $L_h$ ) و عرض ( $T_h$ ) حفره آبشستگی آبشکن به وسیله خط‌کش میلی‌متری قرائت شد. همچنین عمق ( $d_s$ ) حفره آبشستگی آبشکن توسط نوارهای میلی‌متری چسبانده شده با دقت  $\pm 0/1$  میلی‌متر بر روی آبشکن و دیواره‌های کانال قرائت شد. در

## نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های سری آبشکن‌های بدون تغییر شکل دماغه (حالت مبنا) در قوس رودخانه

تشکیل جریان‌های گردابی و آشفته به‌همراه تمرکز شدید جریان در دماغه آبشکن‌ها مکانیزم اصلی آبشستگی آبشکن‌ها به حساب می‌آیند. همان‌طوری که

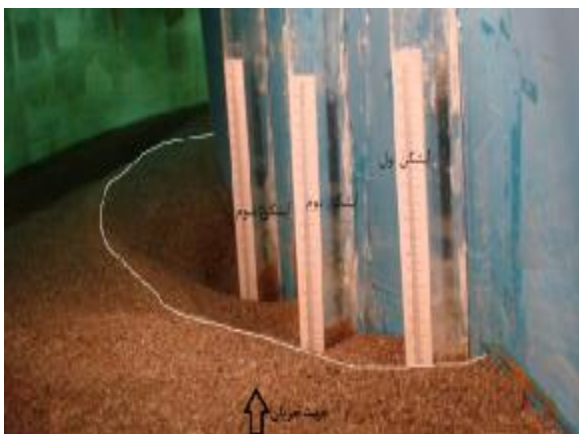
در شکل 6 دیده می‌شود، آبشستگی از جلوی آبشکن‌ها (دماغه آبشکن) شروع می‌شود. نرخ آبشستگی در شروع آزمایش‌ها بالا بوده و با گذشت زمان و توسعه حفره آبشستگی، این نرخ کاهش می‌یابد.



شکل 5- تجهیزات کانال آزمایشگاهی.

در لبه ابتدایی آبشکن‌ها (دماغه آبشکن)، می‌تواند نیروی مقاوم در مقابل جریان را کاهش داده و گردابه‌های نعل اسبی در پای لبه ابتدایی آبشکن‌ها را تضعیف نماید. در نتیجه با کاهش سطح مؤثر در مقابل جریان، آبشستگی موضعی کاهش می‌یابد.

در ساعت اول آزمایش‌ها تقریباً (متوسط هر سه آبشکن) 72 درصد بیشینه عمق آبشستگی ایجاد شد. پس از برخورد آب با بال آبشکن‌ها، به‌علت ایجاد فشار دینامیک در دماغه آبشکن‌ها، جریان رو به پایین شکل‌گرفته و باعث جدا کردن ذرات رسوبی از بستر در این ناحیه شد. به‌تدریج مواد رسوبی فرسایش یافته از جلو آبشکن‌ها، به‌طرف پایین‌دست منتقل گردید و باعث به‌وجود آمدن ریپل در پایین‌دست جریان شد. شکل 6 آبشستگی سری آبشکن‌های حالت مبنا در قوس رودخانه، به‌طول 5/5 سانتی‌متر را نشان می‌دهد (مدل مبنا). خط سفید رنگ در شکل 6، محدوده حفره و بستر دست‌نخورده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تمامی آبشکن‌های قائم با زاویه 120 درجه نسبت به خطوط جریان در نیمه اول قوس نصب شده‌اند.



شکل 6- آبشستگی سری آبشکن‌ها به‌طول 5/5 سانتی‌متر.

اصلاح شکل آبشکن با ایجاد بریدگی در لبه ابتدایی آن به‌منظور کاهش هزینه‌ها و نیز کاهش آبشستگی پیرامون آن‌ها انجام پذیرفت. ایجاد بریدگی

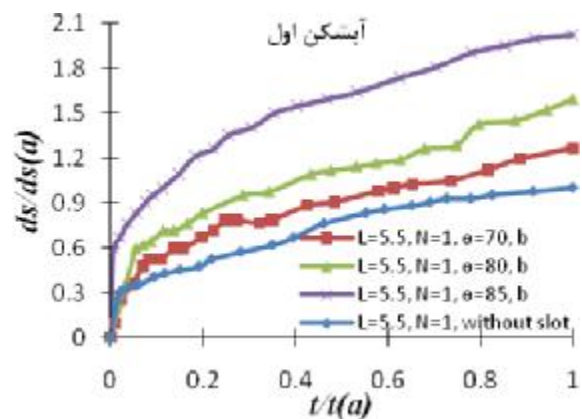


انجام آزمایش مدل مینا  $t_a$  نامگذاری شد. در شکل 7 توسعه زمانی آبشستگی آبشکن‌های به طول 5/5 سانتی‌متر همراه با بریدگی در دماغه آبشکن و با زاویه‌های مختلف (حالت b شکل 4) نمایش داده شده است. در نمودارها، منظور از  $L$  طول آبشکن و  $N$  شماره آبشکن هست.

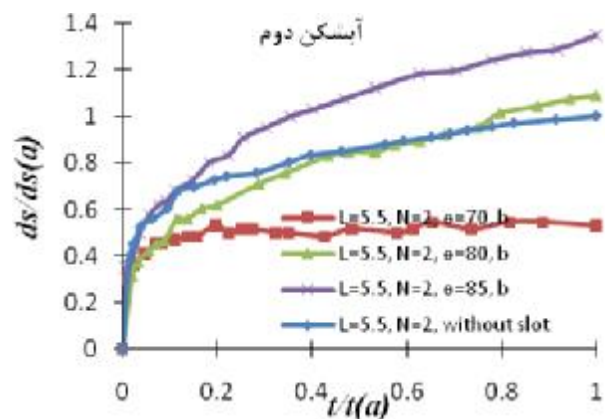
همان‌طوری که در شکل 7 دیده می‌شود نرخ آبشستگی در شروع آزمایش بالا بوده و با گذشت زمان و توسعه حفره آبشستگی، این نرخ کاهش می‌یابد. زمانی که گرداب‌ها قدرت حمل و جابجایی ذرات رسوبی را از جلوی آبشکن از دست بدهند، عمق آبشستگی تقریباً مقدار ثابتی خواهد شد.

در شکل 7-الف منحنی توسعه زمانی عمق آبشستگی آبشکن بدون بریدگی، در پایین‌ترین سطح نسبت به سایر نمودارها قرار دارد. دلیل آن می‌تواند این باشد که احتمالاً با ایجاد بریدگی در آبشکن اول قدرت گرداب‌های اطراف آن قوی‌تر شده و در نهایت موجب افزایش عمق آبشستگی می‌شود. در شکل 7-ج منحنی توسعه زمانی آبشستگی آبشکن بدون بریدگی، در بالاترین سطح نسبت به سایر نمودارها قرار دارد. این مطلب، بیان‌گر تطابق نتایج آزمایش‌های انجام‌گرفته با نتایج آزمایش‌های عزیززی و همکاران (1391) هست. شکل 7-ب حالت بینابینی دارد. همچنین با افزایش زاویه بریدگی (افزایش سطح آبشکن)، جریان پایین‌رونده نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه قدرت گرداب‌های اطراف آبشکن قوی‌تر شده و در نهایت عمق آبشستگی آن افزایش پیدا می‌کند. این مطلب نیز، بیان‌گر تطابق نتایج آزمایش‌های انجام‌گرفته با نتایج آزمایش‌های عزیززی و همکاران (1391) هست. با توجه به شکل 7 می‌توان چنین بیان کرد که در نزدیکی آبشکن اول شدت گردابه‌های ایجادشده بیشتر و با حرکت به سمت پائین‌دست از شدت گردابه‌ها کاسته می‌شود. همچنین الگوی آبشستگی در سری آبشکن‌ها، با ایجاد بریدگی با زاویه‌های مختلف (حالت b شکل 4) تغییری نکرده است.

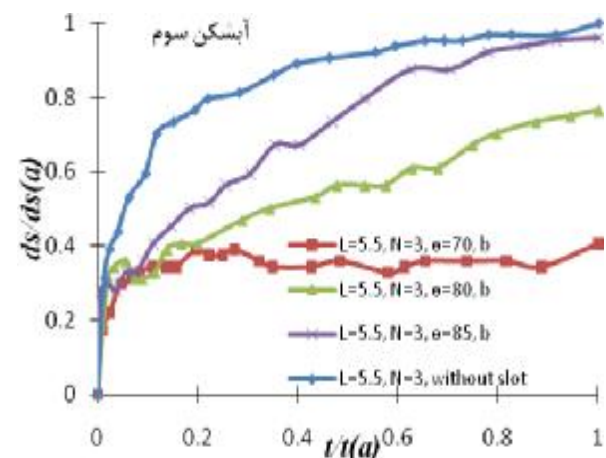
در شکل 8 توسعه زمانی آبشستگی آبشکن‌های به طول 5/5 سانتی‌متر همراه با تورفتگی بریدگی در دماغه آبشکن و با زاویه‌های مختلف (حالت c شکل 4) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

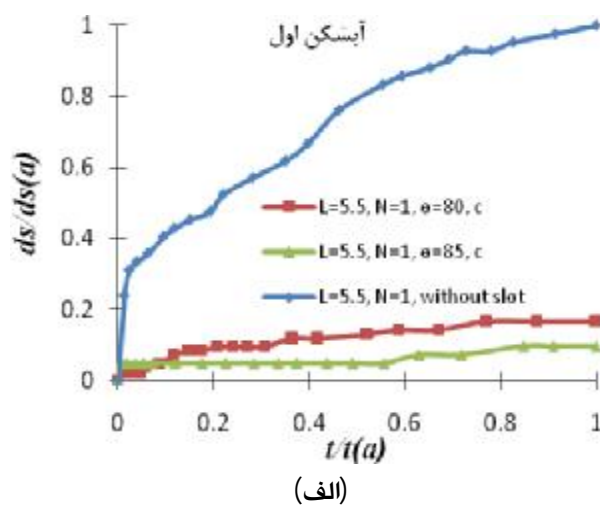
شکل 7- توسعه زمانی آبشستگی آبشکن‌های به طول 5/5 سانتی‌متر همراه با بریدگی در دماغه آبشکن و با زاویه‌های مختلف (حالت b شکل 4).

مدل آبشکن‌های به طول 5/5 سانتی‌متر بدون تغییر شکل دماغه، به‌عنوان مدل مینا در نظر گرفته شد. همچنین بیشینه مقدار عمق آبشستگی آبشکن‌های به طول 5/5 سانتی‌متر به‌عنوان اختصار  $d_s(a)$  و زمان

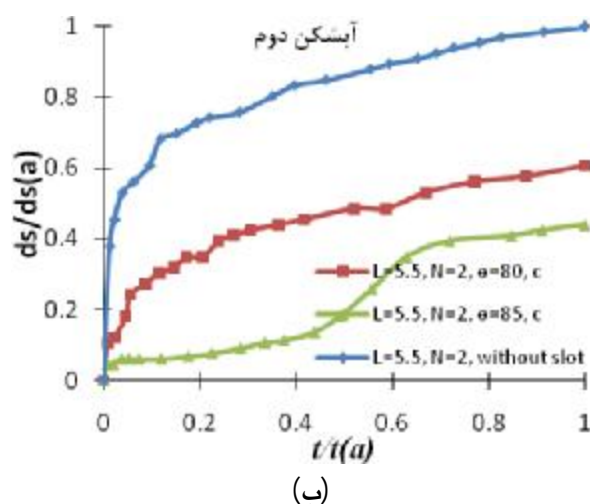
در شکل 8 منحنی توسعه زمانی آبشستگی آبشکن بدون بریدگی، در بالاترین سطح نسبت به سایر نمودارها قرار دارد. دلیل عمده آن را می‌توان چنین بیان کرد که با ایجاد بریدگی و کاهش سطح آبشکن، جریان عمود رو به پایین، نسبت به حالت بدون بریدگی کمتر شده است. متعاقب آن قدرت گرداب‌های اطراف آبشکن ضعیف شده و در نهایت عمق آبشستگی آن کاهش چشم‌گیری پیدا می‌کند. با افزایش زاویه بریدگی (کاهش سطح آبشکن)، جریان پایین‌رونده نیز کاهش می‌یابد. در نتیجه عمق آبشستگی کاهش پیدا می‌کند یا به عبارت دیگر با کاهش سطح آبشکن، سرعت جریان در محل استقرار آبشکن کاهش می‌یابد. این امر باعث کاهش تنش برشی در مقاطع بالادست آبشکن و در نهایت باعث کاهش عمق آبشستگی می‌شود. با توجه به شکل 8 می‌توان چنین بیان کرد که بریدگی لبه آبشکن (حالت c)، در کاهش آبشستگی آبشکن اول تأثیر زیادی نسبت به دو آبشکن دیگر دارد. یعنی اینکه بریدگی حالت c برای آبشکن اول، عملکرد خیلی مطلوبی را داشته است. همچنین الگوی آبشستگی در سری آبشکن‌ها، با ایجاد بریدگی با زاویه‌های مختلف (حالت c شکل 4) به‌طور مطلوبی تغییر کرده است. به‌طوری‌که به‌ترتیب در زاویه‌های بریدگی 80 و به‌خصوص در 85 درجه، رفتار جریان حول آبشکن اول، نزدیک به رفتار جریان حول تک آبشکن می‌باشد.

در شکل 9 توسعه زمانی آبشستگی آبشکن‌های به‌طول 5/5 سانتی‌متر همراه با تورفتگی بریدگی در دماغه آبشکن و با زاویه‌های مختلف (حالت d شکل 4) نمایش داده شده است.

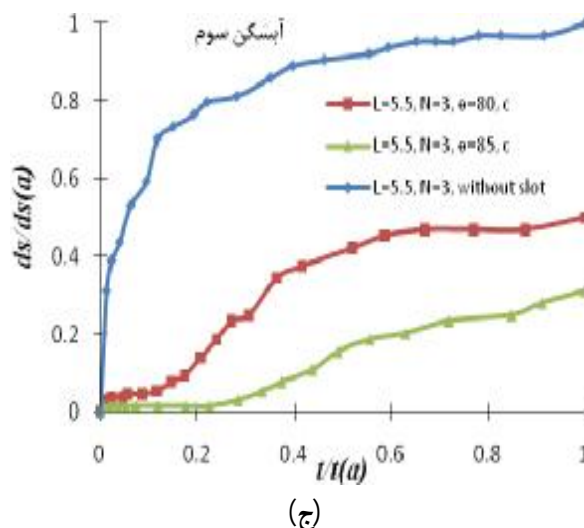
در شکل 9 منحنی توسعه زمانی آبشستگی آبشکن بدون بریدگی، در بالاترین سطح نسبت به سایر نمودارها قرار دارد. با افزایش زاویه بریدگی (کاهش مساحت آبشکن)، جریان پایین‌رونده نیز کاهش می‌یابد. متعاقب آن عمق آبشستگی کاهش پیدا می‌کند. بریدگی در لبه آبشکن (حالت d)، در کاهش آبشستگی هر سه



(الف)



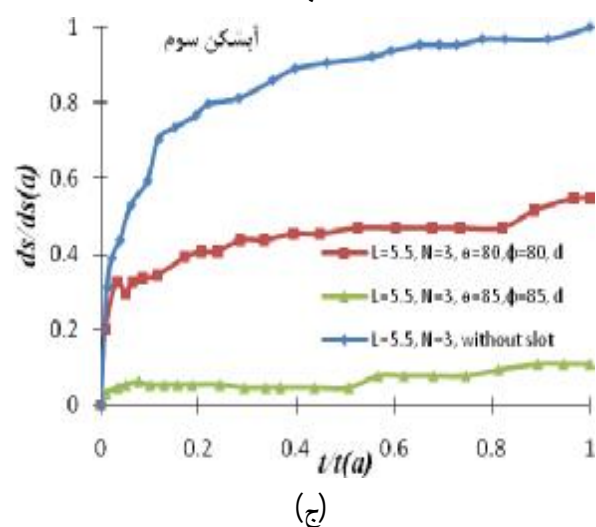
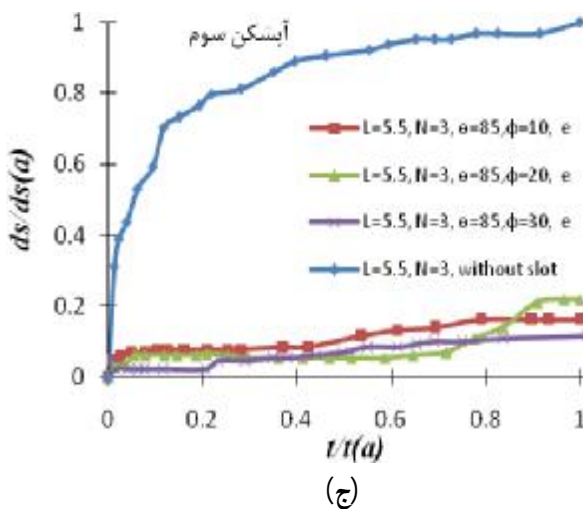
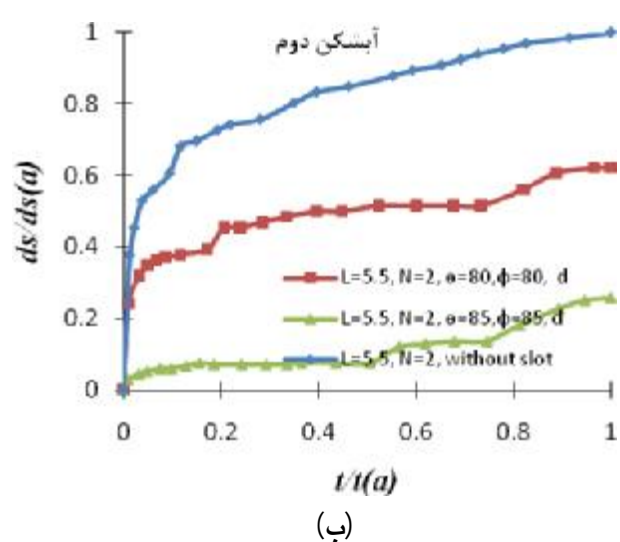
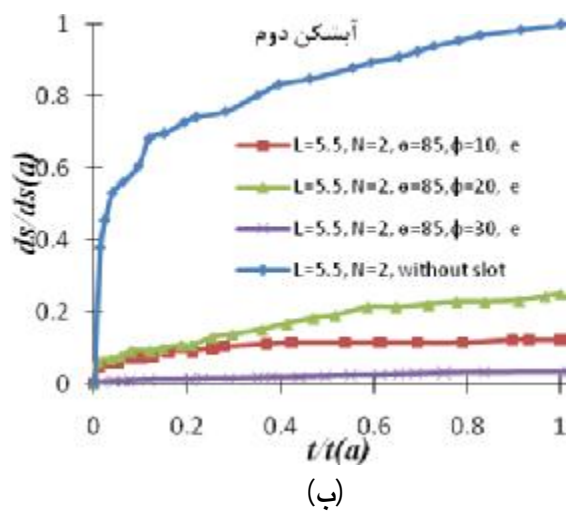
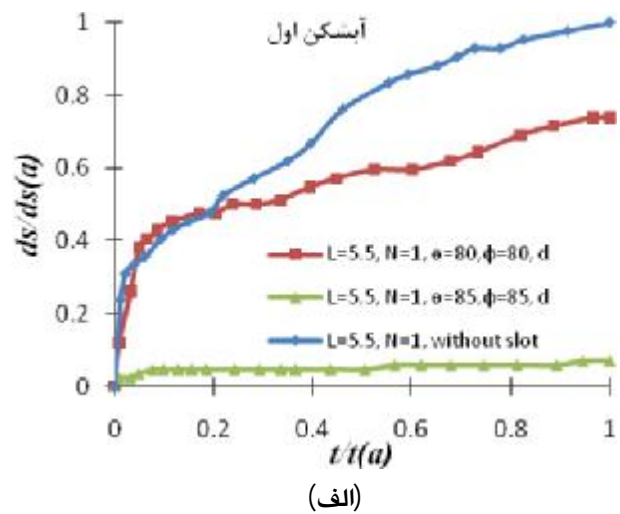
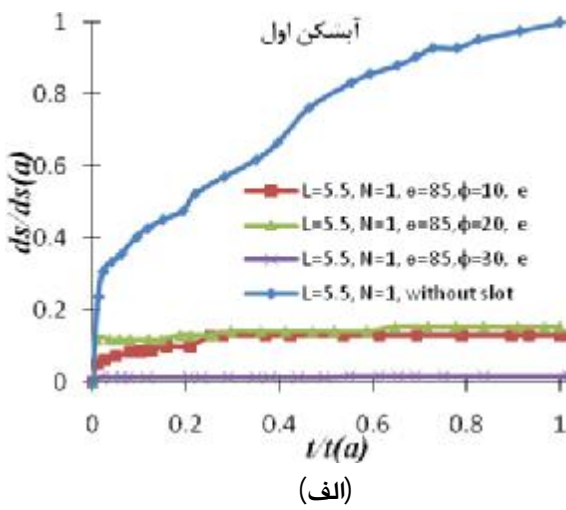
(ب)



(ج)

شکل 8- توسعه زمانی آبشستگی آبشکن‌های به‌طول 5/5 سانتی‌متر همراه با بریدگی در دماغه آبشکن و با زاویه‌های مختلف (حالت c شکل 4).





شکل 10- توسعه زمانی آبشستگی آبشکن‌های به طول 5/5 سانتی‌متر همراه با بریدگی در دماغه آبشکن و با زاویه‌های مختلف (حالت e شکل 4).

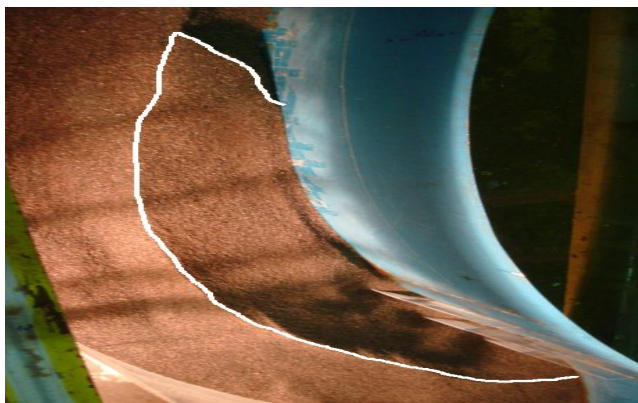
شکل 9- توسعه زمانی آبشستگی آبشکن‌های به طول 5/5 سانتی‌متر همراه با بریدگی در دماغه آبشکن و با زاویه‌های مختلف (حالت d شکل 4).



(الف)



(ب)



(ج)

شکل 11- آبشستگی سری آبشکن‌ها به طول 5/5 سانتی-  
متر همراه با بریدگی در سه حالت مختلف  
الف (e,  $L=5.5, \theta=85, \phi=30$ ), ب ( $L=5.5, \theta=85, \phi=85$ ),  
ج (d,  $L=5.5, \theta=85$ ) و ج (b,  $L=5.5, \theta=85$ ).

شکل 11 برای نمونه آبشستگی سری آبشکن‌ها  
به طول 5/5 سانتی‌متر همراه با بریدگی در سه حالت  
مختلف الف (e,  $L=5.5, \theta=85, \phi=30$ ), ب  
(d,  $L=5.5, \theta=85, \phi=85$ ) و ج (b,  $L=5.5, \theta=85$ ) را  
نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که  $L$  بر حسب  
سانتی‌متر و  $\theta$  و  $\phi$  بر حسب درجه می‌باشند. با توجه

آبشکن تأثیر زیادی داشته و عملکرد خیلی  
مطلوبی از خود نشان می‌دهد. الگوی آبشستگی در  
سری آبشکن‌ها، با ایجاد بریدگی با زاویه‌های مختلف  
(حالت d شکل 4) به‌طور مطلوبی تغییر کرده است. در  
زاویه‌های بریدگی 80 و به‌خصوص 85 درجه، تأثیر  
آبشکن اول بر آبشکن‌های دوم و سوم عملاً کاهش پیدا  
می‌کند.

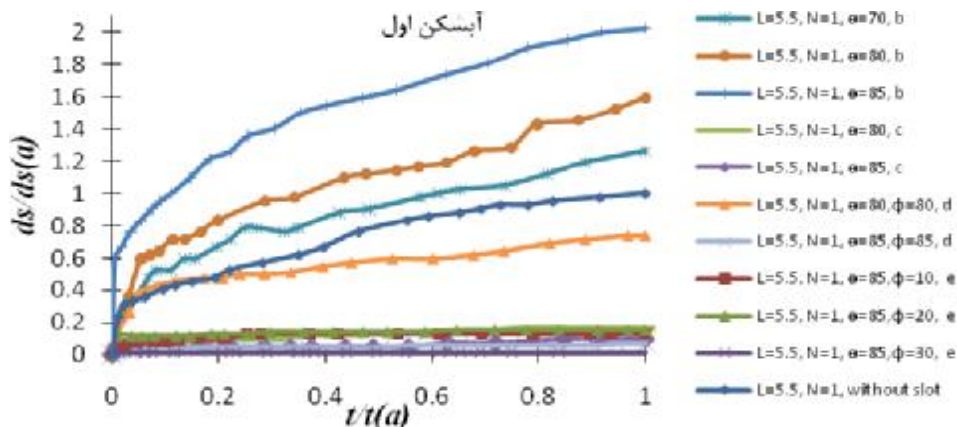
در شکل 10 توسعه زمانی آبشستگی آبشکن‌های  
به طول 5/5 سانتی‌متر همراه با تورفتگی بریدگی در  
دماغه آبشکن و با زاویه‌های مختلف (حالت e شکل 4)  
نمایش داده شده است.

در شکل 10 منحنی توسعه زمانی آبشستگی  
آبشکن بدون بریدگی، در بالاترین سطح نسبت به سایر  
نمودارها قرار دارد. تقریباً با افزایش زاویه خارجی  
بریدگی  $\phi$  (کاهش سطح آبشکن)، منحنی توسعه زمانی  
آبشستگی آبشکن کاهش چشم‌گیری می‌یابد  
(به‌استثنای  $\phi=20^\circ$ ). یا به‌عبارت‌دیگر با کاهش سطح  
آبشکن، سرعت جریان در محل استقرار آبشکن کاهش  
می‌یابد. این امر باعث کاهش تنش برشی در مقطع  
بالادست آبشکن و در نهایت باعث کاهش عمق  
آبشستگی می‌شود. در صورتی‌که زاویه خارجی بریدگی  
 $\phi$  برابر با 20 درجه باشد، عمق آبشستگی نسبت به  
سایر بریدگی‌های حالت e بیشتر هست. ولی در حالت  
کلی ایجاد بریدگی در لبه آبشکن (حالت e)، در کاهش  
آبشستگی هر سه آبشکن تأثیر زیادی داشته و عملکرد  
خیلی مطلوبی از خود نشان می‌دهد. الگوی آبشستگی  
در سری آبشکن‌ها، با ایجاد بریدگی با زاویه‌های  
مختلف (حالت e شکل 4) به‌طور مطلوبی تغییر کرده  
است. به‌طوری‌که تقریباً با افزایش زاویه خارجی  
بریدگی ( $\phi$ )، ضمن تفکیک محدوده تحت تأثیر گردابه‌ها،  
هر آبشکن دارای یک حفره آبشستگی مستقل هست که  
رفتار جریان حول هر سه آبشکن، نزدیک به رفتار  
جریان حول تک‌آبشکن هست و تأثیر رفتار آبشکن‌ها بر  
همدیگر در عمل کاهش پیدا می‌کند.

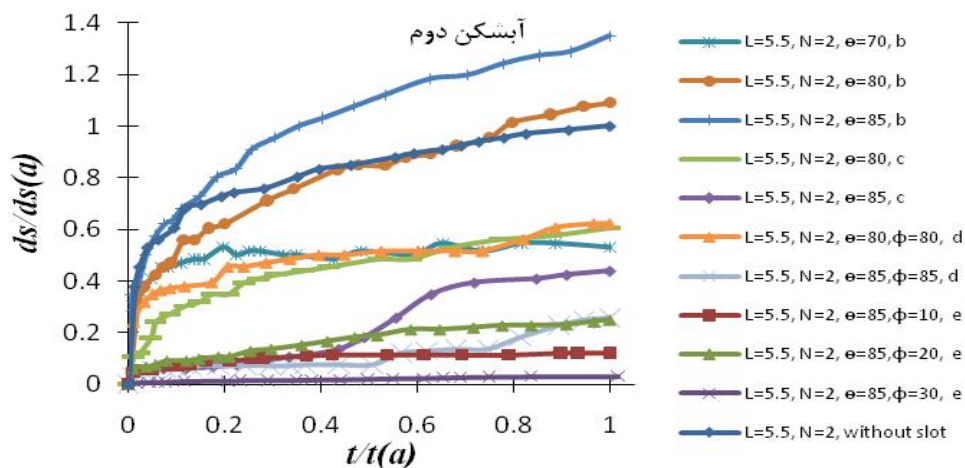
آبشکن و با زاویه‌های مختلف (حالت‌های a, b, c, d, e شکل 4) نمایش داده شده است.

به شکل 11، خط سفید رنگ محدوده بستر دست‌نخورده را نشان می‌دهد.

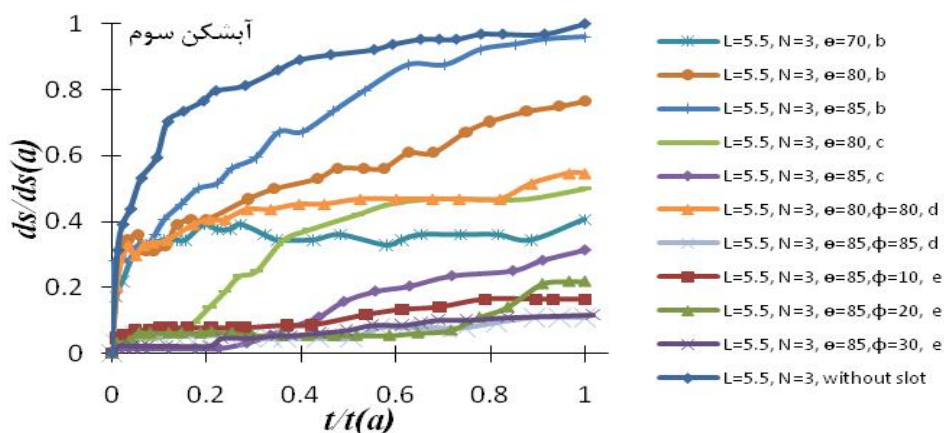
در شکل 12 توسعه زمانی آبشستگی آبشکن‌های به طول 5/5 سانتی‌متر، همراه با انواع بریدگی در دماغه



(الف)



(ب)



(ج)

شکل 12- توسعه زمانی آبشستگی آبشکن‌های به طول 5/5 سانتی‌متر، همراه با انواع بریدگی در دماغه آبشکن و با زاویه‌های مختلف (حالت‌های a, b, c, d, e شکل 4).

با بریدگی لبه آبشکن در حالت  $d$  به ترتیب در زاویه‌های بریدگی 80 و به خصوص در 85 درجه، حفره-ی آبشستگی آبشکن اول تقریباً مستقل از سایر آبشکن-ها شده است. طوری که رفتار جریان حول آبشکن اول، نزدیک به رفتار جریان حول تک آبشکن هست و تأثیر آبشکن اول بر آبشکن‌های دوم و سوم عملاً کاهش پیدا می‌کند.

در حالت کلی ایجاد بریدگی در لبه آبشکن (حالت  $e$ )، در کاهش آبشستگی هر سه آبشکن تأثیر زیادی داشته و عملکرد خیلی مطلوبی از خود نشان می‌دهد.

تقریباً با افزایش زاویه خارجی بریدگی  $\phi$ ، ضمن تفکیک محدوده تحت تأثیر گردابه‌ها، هر آبشکن دارای یک حفره آبشستگی مستقل هست. به طوری که رفتار جریان حول هر سه آبشکن، نزدیک به رفتار جریان حول تک آبشکن هست و تأثیر رفتار آبشکن‌ها بر همدیگر عملاً کاهش پیدا می‌کند.

در همه بریدگی‌ها با کاهش سطح آبشکن، سرعت جریان در محل استقرار آبشکن کاهش می‌یابد. این امر باعث کاهش تنش برشی در مقاطع بالادست آبشکن و در نهایت باعث کاهش عمق آبشستگی می‌شود.

در همه آبشکن‌ها در حالت  $(L=5.5, \theta=85, \phi=30, e)$  کمترین مقدار عمق آبشستگی مشاهده شد که نشان‌گر بهترین حالت بریدگی جهت کاهش عمق آبشستگی هست. به عبارت دیگر عمق آبشستگی در دماغه آبشکن تا 89 درصد نسبت به حالت مبنا کاهش یافت.

شکل 12 نشان می‌دهد که در همه بریدگی‌ها به علت کاهش مساحت آبشکن، جریان پایین‌رونده کاهش می‌یابد و در نتیجه عمق آبشستگی کاهش پیدا می‌کند. البته به استثنای بریدگی در حالت  $b$  در آبشکن اول و دوم که منجر به افزایش عمق آبشستگی شد. در همه آبشکن‌ها در حالت  $(L=5.5, \theta=85, \phi=30, e)$  کمترین مقدار عمق آبشستگی مشاهده شد که نشان‌گر بهترین حالت بریدگی جهت کاهش عمق آبشستگی هست.

### نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق تأثیر بریدگی در لبه ابتدایی آبشکن (دماغه آبشکن) در کاهش آبشستگی سری آبشکن‌ها در خم رودخانه بررسی گردید. نتایج این تحقیق را به صورت زیر می‌توان خلاصه نمود:

در آزمایش سری آبشکن‌های بدون تغییر شکل دماغه (حالت مبنا) در قوس رودخانه مشاهده گردید که آبشستگی از جلوی آبشکن‌ها (دماغه آبشکن) شروع شد.

نرخ آبشستگی در شروع آزمایش‌ها بالا بوده و با گذشت زمان و توسعه حفره آبشستگی، این نرخ کاهش می‌یابد. تقریباً (متوسط هر سه آبشکن) 72 درصد آبشستگی در ساعت اول آزمایش‌ها ایجاد شد.

بریدگی لبه آبشکن (حالت  $c$ )، در کاهش آبشستگی آبشکن اول تأثیر زیادی نسبت به دو آبشکن دیگر دارد. به عبارت دیگر بریدگی حالت  $c$  برای آبشکن اول، عملکرد خیلی مطلوبی را داشته است.

### منابع مورد استفاده

- خسروی نیا پ، حسین زاده دلیر ع، فرسادی زاده د و فاخری فرد ا، 1390. تأثیر طوق در کاهش آبشستگی اطراف آبشکن‌ها. مجله دانش آب و خاک، جلد 21، شماره 1. صفحه‌های 15 تا 18.
- دهقانی ا، برزعلی م، فضل اولی ر و ضیاء تباراحمدی م خ، 1388. مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی موضعی اطراف سری آبشکن‌های  $L$  شکل. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد 16، شماره 3، صفحه‌های 141 تا 162.
- عزیزی ر، شفاعی بجزستان م، قمشی م و موسوی جهرمی س ح، 1391. تأثیر شکل صفحه مستغرق بر آبشستگی موضعی و الگوی رسوبگذاری در کانال‌های آبرفتی. مجله دانش آب و خاک، جلد 22، شماره 2، صفحه‌های 67 تا 78.



- موسوی نائینی سع، واقفی م و قدسیان م، 1391. بررسی آزمایشگاهی تأثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن تی شکل در قوس 90 درجه با بستر صلب. نشریه آب و فاضلاب، شماره 1، صفحه‌های 15 تا 23.
- واقفی م، و قدسیان م، 1389. مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس 90 درجه با بستر متحرک. نشریه مهندسی عمران و نقشه‌برداری - دانشکده فنی، جلد 44، شماره 2، صفحه‌های 265 تا 276.
- واقفی م، قدسیان م و صالحی نیشابوری سع، 1387. مطالعه آزمایشگاهی الگوی آبستگي پیرامون آبشکن T شکل منفرد مستقر در قوس 90 درجه. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال 4، شماره 3، صفحه‌های 61 تا 75.
- Fazli M, Ghodsian M and Salehi Neyshabouri SAA, 2008. Scour and flow field around a spur dike in a 90° bend. *International Journal of Sediment Research* 33(1): 56-68.
- Graf W H, 1996. *Fluvial Hydraulics*, John Wiley & Sons press. New York.
- 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: 301-309.
- Anonymous, 2006. *How to Control Stream Bank Erosion*. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE.
- Kothyari UC and Ranga Raju KG, 2001. Scour around spur dikes and bridge abutments. *Journal of Hydraulic Research* 39(4): 367-374.
- Kuhnle RA, Jia Y and Alonso CV, 2008. Measured and simulated flow near a submerged spur dike. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 134(7): 416-424.
- Moncada-MAT, Aguirre-PEJ, Bolivar JC and Flores EJ, 2009. Scour protection of circular bridge piers with collars and slots. *Journal of Hydraulic Research* 47(1): 119-126.
- Soliman, MM, Attia KM, Kotb Talaat AM, and Ahmed AF, 1997. Spur dike effects on the river Nile morphology after high aswan dam. *Proceedings of the 27th Congress IAHR*, 5: 803-805.