# مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک

محمد واقفی <sup>(</sup>و مسعود قدسیان<sup>\* ۲</sup> ۱ استادیار سازههای هیدرولیکی گروه مهندسی عمران – دانشگاه خلیج فارس ۲ استاد هیدرولیک پژوهشکده مهندسی آب – دانشگاه تربیت مدرس (تاریخ دریافت ۸۷/۲/۲۴ تاریخ دریافت روایت اصلاحشده ۸۸/۱۰/۱، تاریخ تصویب ۸۹/۲/۴)

#### چکیدہ

در این مقاله به اندازه گیری آزمایشگاهی میدان جریان و آبشستگی پیرامون آبشکن<sup>۱</sup> T شکل مستقردر قوس ۹۰ درجه پرداخته شده است. آزمایش ها در یک کانال آزمایشگاهی با شعاع انحنای ملایم انجام گرفته است. در اندازه گیری میدان جریان از دستگاه سرعتسنج سهبعدی ADV و در اندازه گیری توپوگرافی بستر از خطکش الکترونیکی استفاده شد. برای این هدف ابتدا آزمایش آبشستگی انجام شد و توپوگرافی قوس توأم با چاله آبشستگی تعادل یافته در اطراف آبشکن مستقر در زاویه ۲۵ درجه برداشت شد و سپس الگوی سهبعدی متوسط زمانی سرعت اندازه گیری شد. مقایسه بین مؤلفه های سهبعدی سرعت در مقاطع مختلف انجام شد و تفاوت الگوی جریان در طول قوس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت مشاهده ها بیانگر وجود تأثیر آبشکن و توپوگرافی بستر در بر هم زدن الگوی جریان<sup>۲</sup> ثانویه و شکل گیری جریان ثانویه دوم در مقطع ۳۰ درجه و در خلاف جهت جریان ثانویه اول است. همجنین جریانهای ثانویه اصلی در جهت پیشروی شیب حفره آبشستگی شکل می گیرد و گردابه های افقی با جهت خلاف عقربه های ساعت و در بالا دست آبشکن در لایه های مختلف مشاهده می شود. همچنین آبشکن باعث می گیرد و گردابه های افقی با جهت خلاف عقربه های ساعت و در بالا دست آبشکن در لایه های مختلف مشاهده می شود. همچنین آبشکن باعث

واژه های کلیدی: الگوی جریان، آبشکن T شکل، جریان ثانویه، قوس ۹۰ درجه، الگوی آبشستگی

#### مقدمه

مسير رودخانهها در طبيعت توأم با قوسها و پیچانرودها است و به طور معمول قسمتهای خمیده یک رودخانه از جمله بازههای بحرانی در شناسایی رفتار هيدروليكي رودخانهها است. طبيعت سهبعدي جريان و آشفتگیهای موجود در قوسها از یک طرف و تغییرات غیریکنواخت توپوگرافی بستر و عمق جریان از طرف دیگر باعث تشکیل جریانهای ناشناختهای در قوس رودخانهها می شود. در حالت کلی فرض می شود که نیروهای حاکم بر یک جریان خمیده نیروهای گریز از مرکز است. در رودخانهها سرعت جریان در نواحی بالایی نزدیک سطح آزاد زیاد است که این پدیده منجر به یکنواخت نبودن پروفیل سرعت در جهت قائم می شود. در اثر نیروی گریز از مرکز و اندرکنش آن با گرادیانهای جانبی فشار ناشی از شیب جانبی سطح آب، جریانی تشکیل می شود که به جریان ثانویه موسوم است. در این جریان، آب در قسمت بالایے، رودخانه به طرف بیرون رانده می شود و در قسمت پایین به سمت قوس داخلی حرکت میکند. در اثر اندرکنش بین جریانهای ثانویه و یکنواخت نبودن پروفیل w.SID.ir للرطحة در عمق، الگوی جریانی به نام جریان حلزونی

تشكيل مىشود.اين الگوى جريان باعث ايجاد آشفتگى شدید جریان می شود و تأثیر زیادی بر مورفولوژی قوس رودخانه می گذارد، به طوری که سرعت بالای جریان در قوس بیرونی باعث فرسایش بستر رودخانه و ساحل خارجی و در نتیجه تخریب آن می شود. 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 می شود، تحلیل جریان و آبشستگی در اطراف آبشکنهای استفادهشده در قوس خارجی بسیار ییچیدهتر و مشکلتر می شود که دلیل آن اندر کنش بین الگوی جریان در قوس و الگوی جریان اطراف آبشکن و تأثیر جریانهای حلزونی در قوسها است. در این بین پی بردن به هیدرودینامیک جریان می تواند از نظر کاربردی بسیار پر اهمیت باشد. در این مقاله به مطالعه آزمایشگاهی تعیین پروفیلهای سهبعدی سرعت و الگوی آبشستگی<sup>۳</sup> پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه یرداخته شده است. برای این هدف ابتدا آزمایش آبشستگی انجام گرفته و توپوگرافی بستر برداشت شده

است و سپس با استقرار آبشکن در موقعیت ۷۵ درجه و بستر با چاله آبشستگی تعادل یافته، الگوی جریان در مقاطع و پلانهای مختلف و با استفاده از دستگاه سرعتسنج سه بعدی ADV<sup>†</sup> اندازه گیری شد.

#### مروری بر تحقیقات گذشته

درباره الگوی جریان و آبشستگی در کانالهای قوسی تحقیقات زیادی انجام شده است. اما درباره اندازه گیری جریان پیرامون سازههای هیدرولیکی مستقر در رودخانهها مانند آبشکن و کوله پل مطالعات انجام گرفته معدود بوده و این مطالعات نیز اغلب در مسیرهای مستقیم است. احمد و راجراتنام[۱] در سال ۲۰۰۰ به بررسی خصوصیات جریان اطراف کوله پلها در مسیرهای مستقیم پرداختند. دی[۲] در سال ۱۹۹۵ به بررسی میدان جریان سهبعدی در اطراف پایههای پل استوانهای پرداخت. دی و بار باحیوا [۴،۳و ۵] در سالهای ۲۰۰۴، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان سهبعدی، تعیین تنشهای رینولدزی، میزان آشفتگی و میدان جریان آشفته در اطراف کوله پل با مقطع نیم دایره، مستطیلی و ذوزنقهای در مسیر مستقیم پرداختند. فرقانی و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۷ به اندازه گیری آزمایشگاهی دو بعدی سرعت پیرامون آبشکنهای منفرد مستقر در قوس ۹۰ درجه پرداخت. گیری و همکاران[۷] در سال ۲۰۰۴ به بررسی آزمایشگاهی و عددی شبیهسازی جریان و آشفتگی در فلومی شبیه به رودخانههای مئأندری با وجود آبشکنهای غیرمستغرق پرداختند. ایشان با (ADV) به اندازه گیری سرعت با تغيير دادن موقعيت آبشكنها يرداختند و تأثير آن را روی میدان جریان اطراف آبشکن مد نظر قرار دادند و میدان گردابهها و شدت آشفتگی را با تکنیک درونیابی درجه سوم شبه ذره(CIP) و به شکل دوبعدی اندازه گیری کردند. قدسیان و واقفی [۸] در سال ۲۰۰۹ به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه پرداختند و همچنین سعی کردند ارتباط بین الگوی جریان و آبشستگی برقرار کنند. گراف[۹] در سال ۲۰۰۲ به بررسی میدان جریان سهبعدی و نقش گردابهها در تشکیل حفره آبشستگی اطراف پایههای استوانهای پرداخت. ملویل[۱۰] در سال ۱۹۷۷ به مطالعه خصوصیات جریان در حفره آبشستگی ir مستقیم پرداخت. w موضعی اطراف پایه پل مستقر در مسیر مستقیم پرداخت.

راجراتنام و ناواچوکوا [۱۱] در سال ۱۹۸۳ رفتار جریان در اطراف سازههایی شبیه به آبشکن و مستقر در مسیر مستقیم را تحقیق و بررسی کردند. سلاجقه[۱۲] در سال ۲۰۰۳ به بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان دو بعدی در اطراف آبشکنهای مستقر در قوس ۱۸۰ درجه و با بستر صلب پرداخت. تینگسانچالی و ماهاسواران[۱۳] در سال ۱۹۹۰ از یک مدل آشفتگی -k دوبعدی (2D) متوسط گیری شده در عمق که برای اثر انحناء خط جریان اصلاح شده بود، برای حل معادلات حاکم در نزدیکی آبشکن استفاده کردند. واقفی و همکاران نیز در سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ [۱۴،۱۵،۱۶] به بررسی ابعاد چاله آبشستگی و تغییرات توپوگرافی بستر پیرامون آبشکن T شكل و تحت تأثير تغييرات عواملي نظير طول آبشكن، طول بال آبشکن، شکل بال آبشکن و عدد فرود جریان پرداختند و روابطی مناسب نیز در مورد این عوامل ارائه كردند. مطالعات گذشته بیانگر نبود تحقیقات كافی درباره آبشکنهای مستقر در قوس است. در این بین روی الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن T شکل در قوس و ارتباط بین آنها نیز مطالعات محدودی انجام شده است. در این تحقیق علاوه بر اینکه جریان به شکل سهبعدی اندازه گیری شده، به کار گیری آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه و ارتباط بین الگوی جریان و آبشستگی از نوآورىهاى تحقيق است.

### أزمايشها

آزمایشهای مورد نظر در کانالی با قوس ۹۰ درجه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام شد. شکل (۱) 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 ۸/۲ متر به هم متصل شده است. کانال از جنس شیشه ساخته شده است که توسط قابهای فولادی پایداری آن حفظ میشوند. نسبت شعاع قوس به عرض کانال برابر ۴۰۰ ارتفاع آن ۷۰ و عرض آن ۶۰ سانتیمتر است. کف کانال از رسوباتی با قطر متوسط معادل ۱/۲۸ میلیمتر و انحراف معیار ۱/۳ میلی متر تا عمق ۳۵ سانتیمتری پوشیده شده

از بالادست و پاییندست کانال جاری می شد. در طی این مدت یک دریچه کشویی در جلوی دریچه قطاعی کانال قرار می گرفت که وظیفه آن جلوگیری از خروج آب از کانال بود. پس از بالا آمدن سطح آب در کانال، به طور تدريجي جريان به دبي مورد نظر افزايش يافت. سپس دریچه کشویی به طور تدریجی از جلوی مسیر جریان خارج می شد. مقدار جریان در طول آزمایش توسط ارفیس نصب شده در کنار کانال تنظیم می شد. مدت زمان برداشت پروفیل سرعت یک هفته بوده و در این فاصله، برداشت مؤلفههای سهبعدی سرعت جریان در ۲۳ مقطع عرضی در طول قوس و ۸ تراز افقی انجام گرفت که ۳ تراز آن در داخل چاله آبشستگی بود. همچنین در هر مقطع عرضی ۱۸ نقطه قرائت شده است. شبکهبندی ذکر شده غیر یکنواخت بوده و در نزدیکی آبشکن ریرتر است. در اندازه گیری سرعت، از دستگاه سرعتسنج سهبعدی ADV استفاده شده است. از مشخصات این دستگاه، اندازه گیری جریان در فاصله ۵ سانتیمتری نوک حسگر آن است. به همین دلیل در اندازه گیری سرعت در نزدیکی سطح جریان از حسگر جانبنگر<sup>۵</sup> و در لایههای دیگر از حسگر پاییننگر ۲ استفاده شده است. دستگاه سرعتسنج روی فرکانس ۵۰ هرتز تنظیم شد و مدت زمان اندازه گیری هر نقطه از شبکهبندی تعریف شده یک دقیقه بوده است. در هر نقطه و در هر جهت سرعت خروجی این دستگاه ۳۰۰۰ داده بوده که این دادهها توسط نرمافزارهای جانبی explore v و vecterino متوسط گیری می شود و پروفیلهای سرعت با استفاده از متوسطهای ارائهشده ترسیم میشود. در نقاط نزدیک آبشکن و برای قرائت سرعت جریان در اطراف بال و جان آبشکن، نمونه گیر سرعت در جهتهای مختلف قرار داده شد. همچنین سرعتهای برداشتشده در طول قوس ۹۰ درجه از مختصات قطبی به مختصات دکارتی تبدیل شد. مشاهدههای کیفی (تزریق مواد رنگی، حرکت روبانهای رنگی و تزریق براده چوب) نبز برای مشاهده الگوی جریان انجام شد.

#### نتایج و مشاهدهها

تغییرات توپوگرافی بستر و شکل گیری چاله آبشستگی اطراف آبشکن، ارتباط مستقیمی با تأثیر وجود آبشکن بر الگوی جریان دارد. در اینجا به تجزیه و تحلیل تغییرات مطالعه آزمایشگاهی الگوی .....

شد. برای کنترل جریان از یک دریچه قطاعی که در انتهای کانال نصب شده است، استفاده شد. آبشکن به شکل صفحات مستطیلی با پلان T شکل و از جنس پلکسی گلاس است. ضخامت آبشکن ۱ سانتیمتر و ارتفاع آن ۶۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. طول آبشکن ۱۲ سانتیمتر و طول بال آبشکن نیز ۱۲ سانتیمتر است.



شکل ۱ : پلان کانال آزمایشگاهی مورد نظر.

آزمایشهای مقدماتی انجام شده در قوس بدون آبشکن، بیانگر وجود محدوده آبشستگی بین زاویه ۷۰ تا ۸۰ درجه از ساحل خارجی و در قوس ۹۰ درجه است، به همین دلیل آبشکن در موقعیت ۷۵ درجه مستقر شد.

دبی جریان در کلیه آزمایشها ثابت و برابر ۲۵ لیتر بر ثانیه است و آزمایشها در شرایط آب زلال انجام گرفت. زمان تعادل آزمایش ۲۴ ساعت در نظر گرفته شده است. ابتدا در مدت زمان تعادل که ۲۴ ساعت بود، آبشستگی اطراف آبشکن و تغییرات توپوگرافی بستر در قوس به تعادل رسید و با استفاده از خطکش الکترونیکی توپوگرافی بستر در ۴۸ مقطع و هر مقطع شامل ۳۰ نقطه برداشت شد. سپس در مدت زمان۱۲ ساعت بستر خشک شد. پس از خشک شدن بستر، چسب مخصوصی با استفاده از دستگاه رنگ پاش به طور ملایم روی بستر تعادل یافته پاشیده شد. خروجی دستگاه رنگ پاش طوری تنظیم شد که بستر تعادلیافته آسیب ندیده و توپوگرافی تعادلیافته حفظ شود. همچنین با استفاده از دمندههای هوا و در مدت ۱۲ ساعت چسب مخصوص خشک شد. پس از خشک شدن، بستری مشابه بستر اولیه و با زبری مشابه به دست می آید. مدت زمان اشباع کانال بین ۲۰ تا ۳۰ دقیقه است. برای حفظ بستر در شروع آزمایش، آب توسط لوله www.SID.ir نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری- دانشکده فنی، دوره ۴۴، شماره ۲، تیر ماه ۱۳۸۹

مقاطع ۷۷/۵ و ۸۵ درجه در شکل (۳- ب) بیانگر وقوع آبشستگی در ساحل خارجی در انتهای قوس و بعد از رسوبگذاری در پایین دست آبشکن است. شکل (۴) نیز چند مقطع طولی (از زاویه ۶۰ تا ۹۰ درجه) و در فواصل مختلف از ساحل خارجی را نشان میدهد. شکل (۴- الف) نمونهای از مقاطع طولی در محدوده استقرار آبشکن ( فواصل ۳، ۹، ۲۱و ۱۵ سانتیمتری از ساحل خارجی) را نشان میدهد و بیانگر آبشستگی ناچیز در نزدیکی ساحل خارجی و تا فاصله حدود سه برابر طول آبشکن و سپس افزایش آبشستگی به سمت انتهای قوس است. در حالی که در اطراف بال آبشکن این روند متفاوت است.



توپوگرافی بستر و الگوی جریان پرداخته میشود. با استقرار آبشکن در قوس خارجی، تنگشدگی در مقطع جريان ايجاد مي شود. اين موضوع باعث افزايش قدرت گردابهها و تنش برشی در دماغه آبشکن و محدوده بین دیواره بال بالادست آبشکن و جان آبشکن می شود. شروع آبشستگی از دماغه آبشکن آغاز میشود. در ابتدای آزمایش جریانهای لایههای بالایی به شکل جریان رو به پايين به سمت بستر متمايل مىشود. همزمان با اين حرکت، جریان در لایه نزدیک بستر شروع به جداسازی ذرات بستر مىكند. رسوبات جداشده توسط لايههاى پایینی جریان، توسط جریان رو به پایین لایههای بالایی به سمت پاییندست حرکت میکند. پیشروی چاله آبشستگی در ابتدا سرعت زیادی دارد، به طوری که در یک ساعت اول آزمایش بیش از ۵۰ درصد آبشستگی بیشینه<sup>۷</sup> شکل می گیرد. رسوبات خروجی از چاله آبشستگی در طول آزمایش در دو مسیر اصلی حرکت میکنند. قسمتی از رسوبات با زاویه حدود ۳۰ درجه نسبت به بال آبشکن و در جهت حرکت عقربههای ساعت به سمت وسط کانال و در ادامه به طرف ساحل خارجی متمایل می شوند. قسمتی دیگر به سمت ساحل داخلی و پایین دست آبشکن حرکت می کنند. این بخش از رسوبات یک پشته رسوبی تشکیل میدهند و ریزش جریان از روی این پشته رسوبی به سمت بستر، باعث تشکیل حفره آبشستگی دوم در یاییندست آبشکن می شود. پشته رسوبی ذکر شده و چاله آبشستگی دوم، در طول آزمایش به سمت پاییندست حرکت میکنند. وقتی تغییرات توپوگرافی بستر به مسیر مستقیم پاییندست رسید، رسوبات با نرخ بیشتری حرکت میکنند و باعث کم شدن عمق چاله آبشستگی دوم می شود که دلیل آن تأثیر مسیر مستقیم پایین دست قوس در کاهش انحنای خطوط جریان است. در شکل (۲) توپوگرافی بستر در انتهای آزمایش نشان داده شده است. همچنین شکل(۳) نشاندهنده نمونهای از تغییرات تويوگرافي بستر در مقاطع مختلف عرضي بالادست و پاییندست آبشکن است. در این شکل X و Y مختصات نقاط مختلف قوس را نشان میدهد و Z بیانگر میزان آبشستگی در نقاط مختلف و بر حسب میلیمتر است. مقایسه شکل (۳- الف) و (۳- ب) در مقاطع ۷۴/۵ و ۷۵/۵ درجه بیانگر تأثیر وجود بال آبشکن در کاهش آبشستگی w.SID.ir بالادست و پاييندست آبشكن است. همچنين مقايسه





شکل<sup>¢</sup> : نمونهای از تغییرات توپوگرافی بستردرمقاطع طولی (الف)در محدوده اَبشکن و (ب) فاصله بال تا ساحل داخلی.



شکل ۵ : نمودار تغییرات زمانی عمق اَبشستگی بی بعد شده با عمق جریان.

همچنین شکل (۴- ب) نمونهای از مقاطع طولی بعد از محدوده آبشکن ( ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتیمتری از ساحل خارجی) و میزان پیشروی چاله به سمت بالادست و پاییندست و در عرض کانال را نشان میدهد و همانطور که مشاهده میشود با حرکت به سمت ساحل داخلی، رسوبگذاری در انتهای قوس مشاهده میشود. شکل (۵) نمودار تغییرات زمانی عمق آبشستگی بیعدشده را با عمق جریان (ds/Y) در محل وقوع بیشترین آبشستگی نشان میدهد. لازم به ذکر است که محل آبشستگی بیشینه در نزدیکی دیواره داخلی بال بالادست و به فاصله معادل ۱۵ درصد طول آبشکن از



شکل ۶ : مقادیر قدرت جریان ثانویه در طول قوس و در مقاطع مختلف.

همانطور که اشاره شد، جریان تأثیرگذار در مسیرهای قوسی جریانهای ثانویه است که اندرکنش آن با جریانهای طولی سبب تشکیل جریان حلزونی در طول قوس میشود. استقرار آبشکن در طول قوس، باعث به وجود آمدن تغییراتی در الگوی جریان ثانویه و تشکیل جریانهای پیچیدهای در اطراف آبشکن میشود. چاله آبشستگی اطراف آبشکن و تغییرات به وجود آمده در توپوگرافی بستر نیز در نتیجه پیدایش جریانات شکل گرفته است. در بررسی جریان ثانویه در مسیرهای قوسی، دو معیار اصلی وجود دارد که در این مقاله به بررسی این میشود. Shukry در سال ۱۹۴۹ با انجام مطالعاتی روی جریان در قوس رودخانه، ضمن تشریح مکانیسم جریان ثانویه، برای بحث کمی روی این پدیده، معیار زیر را برای قدرت جریان ثانویه معرفی کرده است:

$$S_{xy} = \frac{K_{lateral}}{K_{Main}} \tag{1}$$

این معیار در یک مقطع عرضی معین عبارت است از نسبت انرژی جنبشی جریان جانبی به انرژی جنبشی جریان اصلی. در ای ن معادله Sxy بیانگر قدرت جریان ثانویه،  $K_{main}$  و  $K_{main}$  به ترتیب نشاندهنده انرژی جنبشی جریان جانبی و انرژی جنبشی جریان اصلی هستند. قدرت جریان ثانویه بیانگر تمایل جریان برای حرکت به سمت ساحل خارجی در مسیرهای قوسی است. در شکل (۶) قدرت جریان ثانویه در طول قوس نشان داده شده است.

ww.SID.ir بال است.

نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری- دانشکده فنی، دوره ۴۴، شماره ۲، تیر ماه ۱۳۸۹

نمونهای از پروفیل مؤلفه عرضی سرعت در مقاطع مختلف بالادست آبشکن نشان داده شده است. همان طور که در شکل (۷- الف) مشاهده می شود در مقطع ۶۵ درجه، شروع شکل گیری حفره آبشستگی بوده و جریان ثانویه دوم قدرت كمترى داشته و اين به دليل افزايش قدرت جریان ثانویه اصلی در فاصله ۶۰ تا ۷۰ درجه است (شکل(۶)). در مقطع ۷۲/۵ درجه همان طور که در شکل(۷- ب) مشاهده می شود، جریان ثانویه در جهت شیب چاله آبشستگی شکل گرفته و عاملی در جهت گسترش عرضی چاله است. شکل (۷- ج) مقطع جلو بال بالادست آبشکن را نشان میدهد و نشاندهنده مسیر خطوط جریان در لایههای بالایی و نزدیک به ساحل خارجی به سمت وسط کانال و تشکیل ناحیه جداشدگی جریان است و جریان ثانویه اصلی نیز با شدت بیشتر به پیشروی چاله کمک میکنند. شکل (۷- د) مقطع نزدیک جان آبشکن را نشان میدهد. در داخل محدوده بین بال بالادست و ساحل خارجی دو گردابه با جهت مخالف هم شکل می گیرد. در لایههای پایین گردابهای در خلاف جهت عقربههای ساعت وجود دارد که ناشی از جریانهای رو به بالا است. این جریان با چرخش به سمت ساحل خارجی تمایل به خارج شدن از مسیر بن بست ناشی از جان آبشکن و حرکت در مسیر اصلی جریان را دارد و باعث این گردابه می شود. گردابه دوم در لایه های بالایی در جهت عقربههای ساعت شکل می گیرد و به دلیل فشار کمتر در سطح جریان به صورت رو به بالا است. همچنین جریان ثانویه اصلی در ناحیه بین دیواره بال و ساحل داخلی در جهت شیب حفره آبشستگی تشکیل میشود. در نزدیکی بال و در سطح جریان نیز گردابه کوچکی شکل می گیرد که به دلیل فشار مطلوب در نزدیکی بال هم جهت با جریان ثانویه اصلی است. شکل (۸) نمونهای از پروفیل مؤلفه عرضی سرعت در مقاطع مختلف پایین دست آبشکن را نشان میدهد. همان طور که در شکلهای(۸-الف) و ( $\Lambda$ - ب) مشاهده می شود، در مقطع جلو بال آبشکن، جریان ثانویه در جهت گسترش شیب حفره آبشستگی شکل می گیرد و به دلیل تنگ شدن مقطع و تمرکز تنش در دماغه آبشکن پیشروی آبشستگی در عرض کانال در این ناحیه بیشترین مقدار را دارد. این روند در پروفیل بستر و در شکل (۳- الف) و (۳- ب) نیز مشخص است.



با شروع قوس جریان ثانویه در مقاطع ابتدایی مشهود است. در مقطع ۳۰ درجه جریان ثانویه دومی در خلاف جهت جریان ثانویه اول شکل می گیرد. دلیل این جریان وقوع جریانهای رو به بالا در نزدیکی ساحل خارجی و در (۷) سلایههای میانی تا لایههای سطح آب است. در شکل (۷)





ییشروی به سمت پاییندست قوس قدرت جریان ثانویه ٔ

دوم افزایش می یابد و در انتهای قوس با غلبه بر جریان

w.SID.ir شانوبه اصلی، جهت جریان از ساحل خارجی به سمت

ساحل داخلی میشود. دلیل این پدیده رسوبگذاری در ساحل داخلی و آبشستگی در ساحل خارجی در مقاطع انتهایی قوس است که این موضوع در پروفیل عرضی<sup>^</sup> بستر (شکل ۳- ب) و پروفیل طولی<sup>۹</sup> بستر (شکل ۴- ب) نیز مشخص است.

بررسی پروفیل مؤلفه طولی سرعت در مقاطع مختلف، بیانگر این است که اگر عرض کانال به سه قسمت تقسیم شود، از ابتدای قوس تا مقطع ۶۰ درجه، فقط در ثلث میانی هر مقطع پروفیل طولی تقریبا به پروفیل لگاریتمی نزدیک است.





در شکل (۹– الف) برای نمونه پروفیل مؤلفه طولی سرعت در مقطع ۶۵ درجه نشان داده شده است. همچنین شکل (۹– ب) بیانگر پروفیل مؤلفه طولی سرعت در نزدیکی آبشکن است. همان طور که مشخص است، در سرعت به دلیل تمرکز تنش ناشی از دماغه آبشکن وجود دارد و این روند در نزدیکی شیب چاله آبشستگی نیز مشاهده میشود و دلیل حرکت رسوبات به سمت پاییندست است. شکلهای (۱۰– الف) و (۱۰– ب) به آبشکن و در انتهای قوس را نشان میدهد. در این شکل افزایش مؤلفه طولی سرعت در لایههای نزدیک بستر اولیه





همچنین شکل (۱۱) نمونهای از پروفیل مؤلفه عمقی سرعت را نشان میدهد. از ابتدای قوس تا مقطع ۶۰ درجه در پروفیل عمقی سرعت به غیر از کناره کانال تغییر مشخصی دیده نمی شود، اما در مقطع ۶۰ درجه، همان طور که در شکل (۱۱- الف) نشان داده شده است، دو ناحیه جریان رو به بالا<sup>۱۱</sup> و جریان رو به پایین<sup>۱۲</sup> مشخص است. این تغییرات با نزدیک شدن به موقعیت آبشکن محسوستر است که دلیل آن وجود آبشکن و حفره آبشستگی و تأثیر آن در تغییر الگوی جریانات حاکم بر قوس است. شكل (۱۱- ب) يروفيل مؤلفه عمقى سرعت در نزدیکی بالادست آبشکن را نشان میدهد. در این شکل جریانهای رو به بالا با حرف U و جریان رو به پایین به حرف D نشان داده شده است. در ناحیه بین بال آبشکن و ساحل خارجی، جریان در لایههای نزدیک بستر به شکل رو به پایین بوده که در نزدیکی بستر باعث جدایی ذرات رسوب از بستر می شود و در لایه های نزدیک سطح آب، به دلیل فشار کمتر در سطح، جریان به شکل رو به بالا است. شکل (۱۲) پروفیل مؤلفه عمقی سرعت را در پاییندست آبشکن نشان میدهد. همان طور که در شکل (۱۲– الف) مشخص است، در نزدیکی جان آبشکن و در www.SID.ir

محدوده بین بال و ساحل خارجی در نزدیکی سطح بستر جریان رو به پایین و در نزدیکی سطح آب جریان رو به بالا حاکم است.



(ب) شکل ۱۱ : نمونه ای از پروفیل مؤلفه عمقی سرعت در دو مقطع بالادست آبشکن (الف)۶۵ و (ب)۵/۹ درجه.







شکل ۱۲ : نمونهای از پروفیل سرعت عمقی در دو مقطع پایین ادست آبشکن (الف/۵/۵۷ و (ب) ۹۰ درجه.

مطالعه آزمایشگاهی الگوی .....

دلیل وقوع این دو دسته جریان، شکل گیری جریانهای بازگشتی در پاییندست آبشکن و به سمت جان آبشکن است. جریان بازگشتی در لایههای میانی مشاهده شده و در نزدیکی آبشکن به دلیل تمایل به سمت نواحی با فشار کمتر به دو قسمت تقسیم میشود. همچنین در ناحیه بین بال آبشکن و ساحل داخلی در نزدیکی بستر، جریان رو به بالا و در نزدیکی بال، جریان رو به پایین مشاهده میشود. این دو ناحیه به ترتیب عاملی در جهت خروج رسوبات از بستر و همچنین در جهت آبشستگی اطراف بال است.





(ب) شکل ۱۳ : نمونهای از بردارهای سرعت در دو مقطع بالادست آبشکن (الف)۷۳/۲۵ و (ب)۷۴/۵ درجه.

شکل (۱۳) نمونهای از بردارهای سرعت<sup>۱۳</sup> در دو مقطع جلو بال(شکل (۱۳– الف)) و نزدیک جان آبشکن (شکل (۱۳– ب)) و در بالادست را نشان میدهد. همان طور که مشاهده میشود یک گردابه اصلی در نزدیکی مرکز کانال قابل تشخیص است. این گردابه بیانگر جریان ثانویه اصلی است که به دلیل وجود آبشکن در فاصله بال آبشکن تا ساحل داخلی تشکیل میشود. شکل (۱۴) بردارهای سرعت در مقاطع عرضی نزدیک جان (شکل (۱۴– الف)) و جلو بال آبشکن (شکل (۱۴– ب)) در پاییندست را نشان میدهد. همان طور که در شکل و

ساحل خارجی، یک گردابه افقی در جهت عقربههای ساعت شکل میگیرد. بررسی پروفیلهای عرضی شکل (۸- ب) نشان از تشکیل این گردابه میدهد. همچنین یک گردابه در خلاف جهت عقربههای ساعت در محدوده بین بال و ساحل خارجی شکل میگیرد و این گردابه در مقطع بعدی نیز مشخص است.

شکل (۱۵) نمونهای از بردارهای سرعت در چند تراز مختلف را نشان میدهد. شکل (۱۵– الف) و (۱۵– ب) مربوط به ترازهای داخل حفره آبشستگی است و بیانگر وجود گردابههای افقی با جهت خلاف عقربههای ساعت و ساحل خارجی نیز به دلیل آبشستگی ناچیز بردارهای سرعت وجود ندارد. شکل (۱۵– ج) و(۱۵– د) نیز دو تراز نشان میدهد. در ترازهای مختلف از سطح بستر اولیه) را سمت سطح جریان، ابعاد گردابه بالادست بزرگتر می شود که دلیل آن خارج شدن از داخل چاله آبشستگی و آزادی عمل بیشتر جریان است. البته در نزدیکی سطح جریان به دلیل افزایش مؤلفه طولی سرعت گردابه<sup>۱۴</sup> ایجاد شده ابعاد کوچک تری دارد.







شکل ۱۴ : نمونه ای از بردارهای سرعت در دو مقطع پایین دست آبشکن (الف)۷۵/۵ و (ب)۷۷/۵ درجه.





نتيجه گيري در این مقاله بررسی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل منفرد انجام و نتایج زیر حاصل شد: - در یک ساعت اول آزمایش بیش از ۵۰ درصد آبشستگی بیشینه شکل می گیرد. - در طول بستر و در پاییندست آبشکن، علاوه بر چاله آبشستگی<sup>۱۵</sup> پیرامون آبشکن، چاله آبشستگی دومی نيز تشكيل مىشود. - هندسه آبشکن T شکل، باعث کاهش آبشستگی در پاییندست آبشکن نسبت به بالادست آن میشود. - در مقطع ۶۵ درجه، شروع شکل گیری حفره آبشستگی بوده و جریان ثانویه دوم قدرت کمتری دارد. – از ابتدای قوس<sup>۱۶</sup> و تا مقطع<sup>۱۷</sup> ۶۰ درجه در ثلث میانی هر مقطع پروفیل طولی تقریبا به پروفیل لگاریتمی نزدیک است. – محل آبشستگی بیشینه در نزدیکی دیواره داخلی بال بالادست و به فاصله معادل ۱۵ درصد طول آبشکن از دماغه بال است. - در مقطع ۳۰ درجه، جریان ثانویه دومی در خلاف جهت جریان ثانویه اول شکل می گیرد. - با پیشروی به سمت پاییندست قوس قدرت جریان ثانویه دوم افزایش مییابد و در انتهای قوس با غلبه بر جریان ثانویه اصلی، باعث تغییر جهت جریان از ساحل خارجی به سمت ساحل داخلی می شود. - جریان ثانویه اصلی در ناحیه بین دیواره بال و ساحل داخلی، در جهت گسترش شیب حفره آبشستگی تشكيل مىشود.

- گردابههای افقی با جهت خلاف عقربههای ساعت و در
  بالادست آبشکن در لایههای مختلف مشاهده
  می شود.
- آبشکن باعث انحراف مسیر سرعت بیشینه به سمت ساحل داخلی میشود.
- در داخل محدوده بین بال بالادست و ساحل خارجی، دو گردابه با جهت مخالف هم شکل میگیرد.

مراجع

- Ahmed, F.and Rajaratnam, N. (2000). "Observations on flow around bridge abutment." ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.126, No.1, PP. 51–59.
- 2 Dey, S. (1995). "Three-dimensional vortex flow field around a circular cylinder in a quasi-equilibrium scour hole." *Proceedings of Indian Academic of Sciences*. Sadhana, Vol. 20, No.6, PP. 771–785.
- 3 Barbhuiya, A.K. and Dey, S. (2004). "Turbulent flow measurement by the ADV in the vicinity of a rectangular cross-section cylinder placed at a channel sidewall." *Flow Measurement and Instrumentation*. Vol. 15, No.4, PP. 221–237.
- 4 Dey, S. and Barbhuiya, A.K. (2005). "Turbulent flow field in a scour hole at a semicircular abutment." *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol. 32, No.1, P. 213–232.
- 5 Dey, .S and Barbhuiya, A.K (2006) "Velocity and turbulence in a scour hole at a vertical-wall abutment." *Flow Measurement and Instrumentation*. Vol.17, PP. 13-21
- 6 Forghani, M., J., Fazli, M. and Ghodsian, M. (.2007). "Experimental study on flow field and scouring around a spur dike in ninety degree bend." *32 nd Congress of IAHR, Venice, Italy.*
- 7 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*. Vol. 15, PP. 301-309.
- 8 Ghodsian M., and Vaghefi M. (2009). "Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T shaped spur dike in a 90° bend." *International Journal of Sediment Research*. Vol.24, No.2, PP 145-158.
- 9 Graf, W.H. and Istiarto, I (2002). "Flow pattern in the scour hole around cylinder." *Journal of Hydraulic Research*. Vol. 40, No.1, PP. 13–20.
- 10 Melville, B.W and Raudkivi, R.J. (1977). "Flow characteristics in local scour at bridge piers." *Journal of Hydraulic Research*. Vol. 15, No.4, PP. 373–380.
- Rajaratnam, N.and Nwachukwu, B.A. (1983) "Flow near groin-like structures." *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE. Vol. 109, No.3, PP. 463–480.
- 12 Salajeghe, M. (2003). *Experimental study of flow pattern around spur dike in 180 degree bend with rigid bed*. Tehran University, Iran, P.H.D Thesis.
- 13 Tingsanchali, T.and Maheswaran, S. (1990). "2-D Depth-Averaged Flow computation Near Groin." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 116, No.1, PP.71-86.
- 14 Vaghefi, M., Ghodsian, M and salehi Neyshabori, S.A. (2009). "Experimental Study on Scour around Single T Shaped Spur Dike Located in a 900 bend" *Iran Water Resources Research Journal*, Vol. 4, no. 3, 57-69.
- 15 Vaghefi, M., Ghodsian, M and salehi Neyshabori, S.A. (2008). "Experimental Study the Effect of Wing Geometry on Scour around T Shaped Spur Dike Located in a 900 bend." 7th National Conferences of Iranian Hydraulic, Industrial Water and Power University, Tehran, Iran.
- 16 Vaghefi, M., Ghodsian, M and salehi Neyshabori, S.A. (2008). "Experimental Study the Effect of Froude Number on Scour Pattern around T Shaped Spur Dike Located in a 90o bend." 7th National Conferences of Iranian Hydraulic, Industrial Water and Power University, Tehran, Iran.

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 Spur Dike
- 2 Flow Pattern
- 3 Scour Pattern
- 4 Acoustic Doppler Velocimeter
- 5 Sidelooking
- 6 Downlooking
- 7 Maximum Scour
- 8- Lateral profile
- 9 Longitudinal Profile
- 10 Secondary Flow
- 11 Up Flow
- 12 Down Flow
- 13 Vector Velocity
- 14 Vortex
- 15 Scour Hole
- 16 Bend
- 17 Section