مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد پانزدهم، شماره دوم، خرداد- تیر www.jasnr.info www.sid.ir www.magiran.com/jasnr

مطالعه آزمایشگاهی میدان جریان و آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه با حضور آبگیر جانبی

حسین منتصری'، *مسعود قدسیان'، مهدی شفیعیفر"، سیدعلیاکبر صالحینیشابوری⁺ و امیراحمد دهقانی^۵

^۱دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس، ^۱استاد پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، ^۲دانشیار پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، ^۱استاد پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، ^۵استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تاریخ دریافت: ۸۶/۵/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱/۲۷

چکیدہ

مشخصه اصلي جریان در قوس رودخانهها وجود جریان حلزوني است که باعث مي شود تمایل بردارهاي سرعت در سطح آب به طرف قوس خارجی و در کف به طرف قوس داخلی باشد. از اینرو مناطق واقع در قوس خارجی مکان مناسبی برای آبگیری بهشمار میرود. میدان جریان در اطراف آبگیرهای جانبی، کاملاً سهبعدی و پیچیده میباشد و جانمایی آبگیر در قوس رودخانه باعث افزایش پیچیدگی این الگوی جریان میشود. شناخت الگوی جریان در اطراف آبگیر واقع در قوس رودخانه می تواند مهندسین را در طراحی بهتر آن پاری نماید. در تحقیق حاضر بهمنظور شناخت میدان جریان حول آبگیر جانبی در قوس و تأثیر آبگیر روی میدان جریان در قوس, میدان جریان در یک کانال قوسی با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه با حضور آبگیر جانبی در موقعیت ۱۱۵ درجه از قوس, با استفاده از سرعتسنج سهبعدی ADV در حالت بستر صلب برداشت شد. خطوط جریان در مقاطع عرضی نشان میدهد با ورود جریان به قوس, یک جریان چرخشی در مقطع شکل میگیرد ضمن اینکه یک سلول چرخشی دیگر نیز با جهت مخالف در قوس خارجی بهوجود میآید. در مقاطع پس از آبگیر, سلول چرخشی دوم در قسمت فوقاني جداره داخلي قوس تشكيل مي گردد. الگوي سهبعدي جريان جلوي آبگير نشان مي دهد عرض صفحه تقسيم جریان جلوی آبگیر که در لایههای بالایی بیشتر از لایههای پایینی جریان است, در نزدیک سطح مقداری کاهش می پابد. محاسبه قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس با حضور آبگیر نشان میدهد حداکثر قدرت جریان ثانویه در مقطع ۴۵ درجه از قوس قرار دارد, ضمن اینکه یک حداکثر نسبی دیگر نیز در مقطع ۱۳۰ درجه وجود دارد. با استفاده از مقادیر تنشهای رینولدز در لایه ۵/۰ سانتیمتری از بستر, تنش برشی بستر در محدوده آبگیر محاسبه شد. بهمنظور مقایسه میدان تنش برشی محاسبه شده با الگوی آبشستگی موضعی اطراف دهانه آبگیر, آزمایشهایی روی بستر فرسایش پذیر و در حالت شرایط آب زلال نیز انجام گردید.

واژههای کلیدی: آبگیر جانبی، قوس رودخانه، اندازهگیری سه بعدی جریان، جریان ثانویه

^{*-} مسئول مكاتبه: ghods@modares.ac.ir

می شود, توسط صفحه برشی خمیدهای معین می شود که به صفحه تقسیمکننده جریان معروف است. جریانی که وارد آبگیر میشود، دارای سرعت جانبی شدیدی در جهت کانال اصلی بوده و به همین علت داخل آبگیر، جدایی جریان اتفاق می افتد (ناحیه A در شکل ۱). به دلیل وجود گرادیان فشار جانبی، تنش برشی بستر و نیروی جانب مرکز ناشی از انحناء خطوط جریان، جریان ورودی به آبگیر دچار عدم تعادل شده و همین پدیده باعث ایجاد جریان ثانویهای در طول آبگیر می شود که مکانیسم تشکیل آن شبیه مکانیسم تشکیل جریان حلزونی در قوسها مىباشد, بەطورىكە صفحە تقسيمكنندە جريان بەعنوان ديواره بيروني عمل كرده و ناحيه قوسي شكل ايجاد شده توسط ناحیه جدایی جریان داخل آبگیر (ناحیه A در شکل ۱)، دیواره داخلی قوس مزبور را تشکیل میدهد. پس از آنکه رسوبات مجاور کف به داخل آبگیر منتقل گردیدند، جریان ثانویه رسوبات را به داخل ناحیه جدایی جریان، یعنی جایی که جریان از دیواره بالادست آبگیر جدا شده, هدایت میکند. رسوبات با وجود سرعتهای کم نمیتوانند از منطقه جداشدگی منتقل شوند، در نتیجه امکان تهنشینی رسوبات و انسداد مسیر جریان به وجود می آید (نیری و همکاران، ۱۹۹۹).

مقدمه

مشخصه اصلی جریان در خم رودخانه ا وجود جریان حلزونی است که از اندرکنش جریان ثانویه و جریان اصلی به وجود می آید. جریان ثانویه نیز بر اثر اختلاف نیروهای گریز از مرکز بین لایه های بالایی و پایینی جریان ایجاد می شود. وجود جریان حلزونی در قوس رودخانه ها باعث می شود که تمایل بردارهای سرعت در سطح آب به طرف قوس خارجی و در کف به طرف قوس داخلی باشد و همین پدیده باعث انتقال بار بستر به طرف قوس داخلی می شود. از این رو، جداره خارجی قوس رودخانه ها, مکان مناسبی برای آبگیری خواهد بود. برای به ره برداری کامل از مزیت خم رودخانه، موقعیت آبگیر باید در مقطعی از قوس که جریان حلزونی به توسعه یافتگی کامل رسیده، قرار گیرد.

وضعیت شماتیک جریان در یک آبگیر جانبی که با زاویه ۹۰ درجه در یک مسیر مستقیم نصب شده است, توسط نیری و همکاران (۱۹۹۹) در شکل ۱ ارائه شده است. با نزدیک شدن جریان به دهانه آبگیر, بهخاطر فشار مکشی اعمالی از طرف آبگیر جانبی، جریان در جهت عرضی شتاب گرفته و به دو قسمت تقسیم می شود. قسمتی وارد آبگیر شده و بقیه در کانال اصلی به طرف پایین دست, جریان می یابد. قسمتی که وارد کانال انشعاب



شکل ۱– الگوی جریان در یک انشعاب از مسیر مستقیم (نیری و همکاران، ۱۹۹۹).

¹⁻ Dividing stream surface

بیشتر از سطح است. تحقیقات انجام شده توسط نیری و اودگارد نشان میدهد که جریانهای انحرافی در نحوه و میزان رسوبگذاری تأثیر زیادی دارند. نیری و همکاران (۱۹۹۹) مدل عددی سه بعدی جریان را برروی یک انشعاب ۹۰ درجه توسعه داده و با نتایج آزمایشگاهی صحتیابی کردند.

برروی آبگیری از خم رودخانه ها نیز تحقیقاتی صورت پذیرفته است. از جمله این افراد می توان به هابمس (۱۹۵۵)، جاگلکار (۱۹۵۹)، تورو (۱۹۷۵)، رضوان (۱۹۸۹)، پیرستانی (۲۰۰۴), ابوالقاسمی (۲۰۰۶) و دهقانی (۲۰۰۶) اشاره نمود. نتایج کلی تحقیقات فوق نشان میدهد که بهکارگیری آبگیر در نیمه دوم قوس خارجی و در جایی که جریان ثانویه کاملاً توسعه یافته است، مناسب است. رضوان (۱۹۸۹) موقعیت مناسب آبگیر در انحنای رودخانهها را در محدوده سه چهارم زاویه مرکزی پیچانرود پیشنهاد نمود. آزمایش های پیرستانی (۲۰۰۴) روی الگوی جریان و موقعیت آبگیر در قوس ۱۸۰ درجه روى كف صلب انجام گرفت و در هـر موقعيـت الگـوى جریان حوالی آبگیر با استفاده از یک سرعتسنج دوبعدی برداشت گردید که نتایج این تحقیق نشان میدهد در موقعیت آبگیری ۱۱۵ درجه، برای کلیه اعداد فرود، بیشترین دبی نسبی انحرافی در واحد عـرض مربـوط بـه زاویه آبگیری ۶۰ درجه بوده و با توجه به نوع خطوط جریان تحتانی داخل کانال قوسی که از قوس خارجی به سمت قوس داخلی است، در صورتی که کاهش ورود رسوبات به داخل آبگیر موردنظر باشد، محل آبگیری ۱۱۵ درجه و زاویه آبگیری ۶۰ درجه نسبت به محل های دیگر، توصیه شد. دهقانی (۲۰۰۶) با نصب آبگیر در ۵ موقعیت ۹۰، ۱۰۲/۵، ۱۱۵، ۱۳۵ و ۱۵۰ درجه در نیمه دوم قـوس خارجی کانال قوسی ۱۸۰ درجه, به بررسی میزان رسوب ورودی به آبگیر پرداخت. در آزمایش های ایشان از چهار زاویه آبگیری ۷۵، ۶۰، ۴۵ و ۳۰ استفاده شد. نتایج تحقیق دهقانی (۲۰۰۶) نشان داد که محدوده بین ۱۱۵ تا ۱۳۵ درجه برای آبگیری مناسب است. وی زاویـه آبگیـری ۴۵ درجه را در محدوده آزمایش های خود توصیه نمود.

جانمایی آبگیر در قوس خارجی رودخانهها و تلفیق جریان حلزونی قوس و الگوی جریان پیچیده جلوی آبگیر, بر پیچیدگی الگوی جریان سهبعدی میافزاید. شناخت الگوی جریان در اطراف آبگیر واقع در قوس رودخانه می تواند مهندسین را در طراحی بهتر آن یاری نماید. در تحقیق حاضر با اندازه گیری سهبعدی میدان جریان روی بستر صلب در یک قوس ۱۸۰ درجه همراه با آبگیر جانبی, به بررسی الگوی جریان و تأثیر آبگیر بر میدان جریان قوس پرداخته شده است.

مروری بر مطالعات انجام شده: جریان در کانالهای قوسی بهصورت وسیعی هم بهصورت تحلیلی و هم آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفتهاند. در این زمینه میتوان از محققینی چون رزوفسکی (۱۹۶۱), ادگارد و (۱۹۸۲) و ادگارد و برگس (۱۹۸۸) نام برد. ادگارد و برگس (۱۹۸۸) با انجام آزمایشهایی برروی کانال ۱۸۰ درجه با مقطع ذوزنقهای شکل به بررسی تغییرات بستر و اندرکنش آن با میدان سرعت پرداختند و علت نوسانی بودن بستر واقع در منطقه توسعه یافته (نیمه دوم قوس) را ناشی از الگوی نوسانی.بردار عرضی سرعت در امتداد طولی کانال معرفی نمودند.

مطالعات متعددی نیز روی الگوی جریان در آبگیری از مسیرهای مستقیم صورت گرفته است. در این زمینه تحقیقاتی توسط افراد مختلف نظیر بلانچ و همکاران (۱۹۵۲)، ونونی (۱۹۷۵)، اوری (۱۹۸۹)، نیری و اودگارد (۱۹۹۳) و نیری و همکاران (۱۹۹۹) صورت گرفته است. (۱۹۹۳) و نیری و همکاران (۱۹۹۹) صورت گرفته است. بلانچ و همکاران (۱۹۵۲) را میتوان جزء اولین محققینی عنوان کرد که برروی الگوی جریان در دهانه آبگیر و جریانهای انحرافی مطالعاتی را انجام دادهاند. نیری و ادگارد (۱۹۹۳) مطالعاتی را انجام دادهاند. نیری و هیدرولیک جریان در آبگیرهای ۹۰ درجه در مسیر مستقیم انجام دادند و الگوی جریان، خط تقسیم جریان، ناحیه سکون و ناحیه جدایی جریان را بررسی کردند و نشان کانال آبگیر نیز با استفاده از سرریز مثلثی که در انتهای حوضچه تخلیه آبگیر جانبی قرار دارد, تعیین می گردد. در این تحقیق میدان جریان در قوس و حول آبگیر ADV^۱ جانبی با استفاده از یک سرعتسنج سهبعدی ADV^۱ اندازه گیری گردید. دستگاه سرعتسنج روی فرکانس هرتز تنظیم شد و زمان اندازه گیری نوسانات برابر ۱ دقیقه انتخاب گردید. زمان جمع آوری داده در هر نقطه توسط سارکر (۱۹۹۸) و بارباریا و دی (۲۰۰۳) بین ۳۰ ثانیه تا ۱ دقیقه مناسب تشخیص داده شده است. قبل از اندازه گیری میدان جریان, یک لایه رسوب از مصالح با دانهبندی یکنواخت و با قطر متوسط ۱/۲۸ میلیمتر روی بستر شیشهای کانال چسبانیده شد.

در آزمایش اندازه گیری میدان جریان روی بستر صلب, ابتدا دریچه آبگیر را بسته, سپس با روشن کردن پمپ و باز کردن شیر آن, دبی ورودی ۴۰ لیتر بر ثانیه تنظیم شد. سپس با تنظیم همزمان دریچه انتهای آبگیر و دریچه پروانهای انتهای کانال اصلی, عمق جریان ورودی برابر ۱۵ سانتیمتر و دبی انحرافی آبگیر برابر ۴۰ درصد دبی ورودی تنظیم شد. پس از آنکه شرایط جریان مورد نظر در کانال برقرار گردید, اندازه گیری سرعت آغاز میشود. مواد و روشها

آزمایش ها در یک کانال قوسی با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه, شعاع متوسط ۲/۶ متر و با عرض ۲/۶ متر انجام شد. در قسمت بالادست قوس یک کانال مستقیم به طول ۲/۷ متر و در پاییندست قوس, کانال مستقیمی به طول ۵/۲ متر وجود دارد. کف و دیواره های کانال از جنس شیشه می باشد (شکل ۲).

در موقعیت ۱۱۵ درجه از قوس, کانال آبگیر با زاویه ۲۵ درجه نسبت به امتداد جریان در کانال اصلی نصب گردید. عرض و طول کانال آبگیر بهترتیب ۲۵ سانتیمتر و ۲/۵ متر میباشد. موقعیت آبگیر و زاویه انحراف آبگیر براساس توصیه دهقانی (۱۳۸۵) انتخاب شده است. دبی جریان ورودی توسط یک فلومتر اولتراسونیک که برروی لولههای ورودی آب نصب شده است، اندازهگیری و با مرریز مثلثی استاندارد که در انتهای کانال اصلی وجود دارد، کنترل میشود. عمق جریان در ورودی کانال اصلی با استفاده از دریچه پروانهای واقع در انتهای کانال اصلی تنظیم میگردد و با استفاده از یک عمقسنج دیجیتال که در ورودی کانال قرار داده شده و دارای دقت ۱۰/۰



شكل۲- مشخصات فلوم آزمایشگاهی.

¹⁻ Acoustic Doppler Velocimeter

شــكل ۳ توزيــع قــائم مؤلفــه ســرعت مماســي U متوسط گیری شده در زمان را در مقاطع عرضی مختلف قوس نشان میدهد. توزیع قائم U نشان میدهد در اوایل قوس (مقطع ۲۰ درجه), پروفیل سرعت در تمام مقطع شکل لگاریتمی دارد, یعنی در کف از مقدار صفر شروع می شود و با افزایش تراز, افزایش مییابد, اما در مقاطع جلوتر, شکل پروفیل از حالت لگاریتمی خارج میشود بهگونهای که مقدار سرعت مماسی در تراز کف از مقـدار صفر شروع می شود, سپس با افزایش ارتفاع افزایش مییابد, اما از تقریباً میانیه عمق جریان مقدار آن کمی کاهش می یابد (مقطع ۹۰ درجه). این پدیده در مقاطع بعد از آبگیر نیز تا پایان قـوس وجـود دارد, امـا از شـدت آن کاسته می شود (مقاطع ۱۳۰ و ۱۴۰ درجه). دلیل ایـن امـر وجود جریان ثانویه در قوس میباشد که در سطح دارای مومنتوم جانبی به سمت قوس خـارجی و در کـف دارای مومنتوم جانبی به سمت قوس داخلی است. این پدیده در قوس داخلی آشکارتر است.

شکل ۴ توزیع قائم سرعت شعاعی متوسط گیری شده در زمان را در مقاطع عرضی مختلف ارائه میدهد. در این شکل مشخص است که پروفیل سرعت شعاعی V نزدیک بستر در مقاطع مختلف تغییر جهت میدهد که دلیل آن شکل گیری یک جریان عرضی در مقطع است که هسته این جریان ثانویه نزدیک به کف میباشد. این جریان توسط محققین قبلی از جمله پیرستانی (۲۰۰۴) نیز گزارش شده است. در قسمت فوقانی قوس خارجی جریان عرضی دچار تغییر جهت میشود. با نزدیک شدن به آبگیر, بر اثر مکش آبگیر مقدار سرعت شعاعی افزایش مییابد.

تغییرات سرعت شعاعی در امتداد لبه خارجی قوس و در تراز نزدیک بستر در شکل ۵ نشان داده شده است. ملاحظه میشود که مقادیر سرعت شعاعی از ابتدای قوس تا لبه آبگیر حالت نوسانی دارند و با رسیدن به آبگیر شروع به افزایش مینمایند و بعد از آبگیر کاهش مییابند،

بهمنظور مقایسه الگوی آبشستگی موضعی و میدان تنش برشی محاسبه شده از اندازه گیری الگوی جریان, آزمایشی نیز با بستر فرسایشپذیر انجام گردید. در این آزمایش ابتدا لایهای رسوبی از جنس ماسه به ضخامت تقريباً ۲۰ سانتیمتر و با قطر میانگین ۱/۲۸ میلیمتر و بـا دانهبندی یکنواخت در سراسر کانال گسترانده شد و توسط صفحهای فلزی که به ارابه متصل شده بود، سطح رسوبات با دقت تسطیح گردید. سپس دریچه انتهای آبگیر جانبی را بسته و آب با دبی کم از انتهای کانال اصلی وارد شده و هنگامیکه تراز آب به حد بالایی رسید، پمپ با دبی کم راهاندازی و اجازه داده شد تا سطح آب درون كانال بالا بیاید. علت این امر آنست كه رسوبات قبل از رسیدن دبی جریان به مقدار موردنظر برای انجام آزمایش ها، حرکت ننمایند. پس از آن کمکم شیر پمپ را باز نموده تا دبی جریان در کانال به مقدار معین برسد. سپس با تنظیم همزمان دریچه پروانهای انتهای کانال اصلی و دریچه انتهای آبگیر، عمق جریان درون کانال مستقیم بالادست قوس تنظیم می گردد, به گونهای که شرایط آب زلال (u/uc=0.9, کے u سرعت متوسط جریان در ورودی و u_c سرعت بحرانی آستانه حرکت رسوبات میباشد) برای بررسی آبشستگی موضعی حول آبگیر مهیا گردد. زمان تعادل در این آزمایش برابر ۴/۵ ساعت بود که این زمان براساس معیار تغییرات ناچیز عمق حفره فرسایشی در بالادست و پاییندست آبگیر نسبت به زمان بهدست آمد. در انتهای آزمایش, برداشت توپوگرافی بستر توسط دستگاه برداشت کننده بستر انجام شد.

بحث و نتیجه گیری

توزیع قائم مؤلفههای V, U و W: توزیع قائم مؤلفههای سرعت در مقاطع عرضی مختلف در صفحه ۲-۷ در ادامه بررسی می گردند. ۲ راستای شعاعی است که از قوس داخلی اندازه گیری شده است و Y راستای قائم می باشد (شکل ۳). که دلیل آن وجود جریان ثانویه در قوس است که جهت آن ساعتگرد و در سطح به سمت قوس خارج و در کف به سمت قوس داخل می باشد. همچنین، ترکیب جریان ثانویه و مکش آبگیر باعث شده است که مقادیر منفی W در قوس خارجی بزرگتر از مقادیر مثبت W در قوس داخلی باشند, از این رو هسته جریان ثانویه به سمت قوس داخلی متمایل خواهد بود.

از آنجا که به علت جریان گریز از مرکز قوس سطح آب دارای شیب عرضی است, مؤلفه قائم سرعت در سطح آب دارای مقدار غیر صفر است. در مقطع ۹۰ درجه در قسمت فوقانی قوس خارجی مقدار W تغییر جهت داده است که بیانگر وجود یک جریان چرخشی خلاف جهت جریان ثانویه مقطع در این ناحیه است. ضمن این که حالت نوسانی خود را حفظ می نمایند ولی شدت نوسان کمتر شده است. علت نوسانی بودن مؤلفه شعاعی سرعت, عدم تعادل موضعی بین نیروی گریز از مرکز قوس و گرادیان فشار جانبی که بر اثر تغییر تراز سطح آب در قوس داخل و خارج اتفاق می افتد, می باشد. مطالعات ادگارد و برگس (۱۹۸۸) روی الگوی جریان در قوس ۱۸۰ درجه بدون آبگیر جانبی نیز بیانگر نوسانی بودن مؤلفه سرعت عرضی در امتداد قوس خارجی است.

توزیع قائم مؤلفه سرعت عمودی متوسط گیری شده زمانی بهعنوان نمونه در مقاطع عرضی ۲۰ و ۹۰ درجه در شکل ۶ ارائه شده است. ملاحظه می شود توزیع قائم در مجاورت قوس داخلی دارای مقادیر مثبت است و با فاصله گرفتن از قوس داخلی دارای مقادیر منفی می شود



شكل ۳- توزيع قائم مؤلفه سرعت مماسى U در مقاطع مختلف.



شکل ۵– تغییرات سرعت شعاعی V در امتداد قوس خارجی نزدیک بستر در مقاطع مختلف.



شكل ۶- توزيع قائم مؤلفه سرعت عمودي W در مقاطع مختلف.

خطوط جریان در ترازهای مختلف: به منظ ور ترسیم خطوط جریان در ترازهای مختلف, اندازه گیری سرعت در امتداد خطوط شعاعی و در ترازهای مختلف انجام شده است. در شکل ۷ خط وط جریان در ترازهای مختلف نشان داده شده است. این خط وط براساس بردارهای نشان داده شده است. این خط وط براساس بردارهای سرعت در صفحات افقی که دارای بزرگی میباشند, ترسیم شدهاند. در این شکل ها خط تقسیم جریان جلوی آبگیر مشخص شده است.

با افزایش تراز بستر, خط تقسیم جریان از دیواره خارجی به سمت دیواره داخلی حرکت مینماید و سپس در امتداد دیواره داخلی به سمت پاییندست جلو میآید. در حقیقت سهم آبگیر در کانال قوسی از لایههای بالایی جریان که حاوی رسوب کمتری هستند, بیشتر از لایههای پایینی جریان است که حاوی رسوبات کمتری هستند و این مطلب امتیاز آبگیری از قوس خارجی خم رودخانهها

را آشکار میسازد. دلیل این پدیده وجود جریان حلزونی در قوس است.

نکته مهم دیگری که در این شکلها ملاحظه می شود وجود نقطه زینی در گوشه پایین دست آبگیر در تراز نزدیک بستر است که با افزایش تراز این نقطه از بین میرود. وجود نقطه زینی عامل مهمی در به تله افتادن و تجمع رسوبات بار بستر در این ناحیه است و موجب ورود رسوبات از این ناحیه به درون آبگیر می گردد. تحقیقات انجام شده توسط پیرستانی (۲۰۰۴) نیز تأییدکننده نتایج فوق است. همچنین، صفرزاده (۲۰۰۵) نیز با مدلسازی جریان در قوس ۱۸۰ درجه و با حضور آبگیر جانبی به نتایج مشابهی دست یافته است.

خطوط جریان در مقاطع عرضی: در شکل ۸ خطوط جریان در مقاطع عرضی نشان داده شده است. خطوط جریان براساس بردارهای سرعت در صفحات عرضی که دارای بزرگی $V_{ry} = \sqrt{(v^2 + w^2)}$ در هر نقطه میباشند, ترسیم شدهاند.



www.SID.ir



شکل ۸- خطوط جریان در مقاطع عرضی مختلف.

می گیرد. هسته این جریان ثانویه در قوس داخلی قرار دارد, ضمن این که سلول چرخشی نیز که جهت آن خلاف جریان ثانویه اصلی است, به طور کامل تشکیل شده است. این سلول چرخشی در قسمت فوقانی قوس خارجی توسط بلانکارت و همکاران (۲۰۰۱) نیز با اندازه گیری آزمایشگاهی روی یک قوس ۱۲۰ درجه گزارش شده جریان با ورود به قوس, تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز قرار می گیرد و یک جریان ثانویه در قوس شروع به شکل گیری می کند, ضمن این که یک سلول چرخشی دیگر نیز در قسمت فوقانی جداره خارجی به وجود می آید (مقطع ۱۰ درجه). در مقطع ۲۰ درجه جریان ثانویه کامل تر می شود و در مقطع ۴۰ درجه به طور کامل شکل

است، اما مطالعات عددی صفرزاده (۲۰۰۴) روی میدان جریان در قوس ۱۸۰ درجه با حضور آبگیر جانبی توسط نرمافزار فلوئنت این سلول چرخشی را نشان نداده است. بلانکارت و همکاران (۲۰۰۱) ناهمگنی تنشهای قائم رینولدز داخل مقطع را عامل اصلی ایجاد سلول چرخشی دوم در نزدیک دیواره خارجی عنوان کردهاند.

از مقطع ۴۵ درجه جریان تحت تأثیر مکش آبگیر قرار می گیرد و هسته جریان ثانویه مقطع از قوس داخلی جدا میشود اما سلول چرخشی نزدیک جدار خارجی قویتر می گردد (مقطع ۶۰ درجه). از مقطع ۱۰۷ درجه جریان ثانویه قوس تحت مکش شدید آبگیر قرار میگیرد و جریان ثانویه شروع به زوال مینماید و در مقطع ۱۱۵ درجه (وسط آبگیر) بهدلیل مکش آبگیر و ایجاد مومنتوم جانبی قوی, جریان ثانویه بهطور کامل از بین میرود. در مقاطع بعد از آبگیر جریان ثانویه اصلی دوباره شکل می گیرد اما بدلیل مکش آبگیر هسته جریان ثانویه متمایل به آبگیر می شود, ضمن این که یک سلول چرخشی در قسمت فوقاني قوس داخلي تشكيل مي گردد (مقطع ١٣٠ و ۱۴۰ درجه). این سلول چرخشی ناشی از ناحیه سکون نزدیک قوس داخلی میباشد که موجب حرکت ضعیف عرضی ذرات به طرف جداره داخلی می شود. این سلول چرخشی توسط صفرزاده (۲۰۰۴) گزارش شده است. از این مقطع به بعد و با رسیدن به انتهای قوس, جریان ثانویه مقطع شروع به زوال مينمايد.

الگوی ۳ بعدی جریان در محدوده آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه: ترکیب جریان حلزونی در کانال های

قوسی و الگوی جریان سهبعدی جلوی آبگیر یک الگوی سه بعدی پیچیده را پدید میآورد. میدان سه بعدی جریان در محدوده آبگیر جانبی در قوس, در شکل ۹ نشان داده شده است. خطوط جریان نشان داده شده در ایان شکل براساس بردارهای سرعت در فضای سهبعدی که دارای بزرگی $V_r = \sqrt{(u^2 + w^2 + v^2)}$ در هر نقطه میباشند, ترسیم شدهاند.

خطوط جریانی که در محدوده خط تقسیم جریان آبگیر قرار دارند, با نزدیک شدن به آبگیر بهطور کامل به سمت آبگیر متمایل میشوند (شمارههای ۱، ۲ و ۳ در شکل ۹- الف). ملاحظه میشود که خطوط جریان در لایههای بالایی بیشتر از خطوط جریان در لایههای پایینی به سمت آبگیر متمایل میشوند اما لایههای سطحی کمتر از لایههای میانی به سمت آبگیر متمایل می گردند (شکل ۹- ب) که علت آن اختلاف تنش برشی بین لایههای سیال و لایه سطحی با هوا میباشد. خطوط جریان عبوری از وسط عرض جریان, تحت تأثیر گوشه پاییندست آبگیر به سمت آبگیر متمایل میشوند (شکل ۹- د).

با دور شدن از دهانه آبگیر در عرض کانال, تأثیر مکش آبگیر بهتدریج کاهش مییابد و از نیمه کانال به سمت قوس داخلی که تأثیر کمی از آبگیر میپذیرد, جریان حلزونی موجود در قوس بهطور کامل شکل میگیرد (شکل ۹- ه). در این شکل ملاحظه میگردد که در جریان حلزونی موجود در قوس نیز, خطوط جریان در لایه سطحی کمتر از لایه میانی به سمت قوس خارج متمایل هستند.



شکل ۹- الگوی سهبعدی جریان جلوی آبگیر.



شکل ۱۰- صفحه تقسیم جریان آبگیر جانبی در قوس.

پروفیل سهبعدی صفحه تقسیم جریان جلوی آبگیر در قوس در شکل ۱۰ نشان داده شده است. این صفحه براساس خطوط جریان متقاطع با ضلع پاییندست آبگیر و دادههای حاصل از اندازهگیری سهبعدی جریان ترسیم شده است. در این شکل جریان برگشتی در لبه پاییندست آبگیر در تراز نزدیک کف نیز نشان داده شده است.

همان گونه که در این شکل مشخص است برخلاف آبگیری از مسیر مستقیم, عرض صفحه تقسیم جریان در سطح بیشتر از کف است که دلیل آن وجود جریان حلزونی در قوس میباشد. نکته قابل توجهی که در این شکل مشاهده میشود این است که عرض صفحه تقسیم جریان از کف به سمت سطح آب ابتدا افزایش یافته و دوباره نزدیک سطح کاهش مییابد. دلیل این کاهش نیز

تفاوت تنش برشی بین لایه های سیال و لایه سطحی با هواست. با توجه به اینکه زاویه انحراف آبگیر تقریباً در راستای خطوط جریان میباشد. عرض ناحیه جدایی جریان درون آبگیر کوچک میباشد. یک ناحیه سکون نیز در پاییندست آبگیر در قوس داخلی وجود دارد که براساس مشاهدات الگوی جریان در ترازهای افقی و تزریق رنگ ترسیم شده است. پیرستانی (۲۰۰۴) و صفرزاده (۲۰۰۵) نیز در مطالعات خود, افزایش عرض صفحه تقسیم جریان در سطح نسبت به کف را گزارش نمودهاند اما به کاهش آن در لایه های سطحی اشاره نکردهاند. ضمن اینکه پروفیل سهبعدی صفحه تقسیم جریان در قوس نیز ارائه شده است.

تغییرات قدرت جریان ثانویه در قوس: در این قسمت با استفاده از میدان جریان اندازه گیری شده, اثر آبگیر روی قدرت جریان ثانویه در قوس به صورت کمی بررسی شده است. معیار مهمی که برای قدرت جریان ثانویه در مراجع بدان اشاره شده است، معیار چرخش می باشد. طبق بدان اشاره شده است، معیار چرخش می باشد. طبق ابعاد مند خالص چرخش پادساعتگرد یک المان به ابعاد $\Delta x \times \Delta y$ حول محور Z, قدرت گرداب نامیده شده و به صورت معادله ۱ قابل بیان است که در این رابطه $\overline{\omega}$ قدرت گرداب می باشد (دیلی و هارلمن, رابطه رایج

$$\overrightarrow{\omega_z} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \tag{1}$$

به منظور محاسبه قدرت جریان ثانویه در قوس با حضور آبگیر جانبی با استفاده از روش فوق, هر مقطع عرضی براساس شبکه بندی که برای اندازه گیری جریان به کار برده شد, المان بندی گردید و م س برای هر المان محاسبه و با متوسط گیری از مقادیر فوق, قدرت متوسط جریان ثانویه در هر مقطع عرضی حاصل گردید. در شکل ۱۱, قدرت جریان ثانویه متوسط که با حداکثر مقدار

آن بدون بعد شده است, در مقاطع عرضی در طول قوس و محدوده آبگیر نشان داده شده است. روشن است که جریان ثانویه تا مقطع ۴۵ درجه رشد میکند و در مقطع ۴۵ درجه جریان ثانویه به حداکثر قدرت خود میرسد و پس از مقطع ۴۵ درجه به علت اثر مکش آبگیر, قدرت جریان ثانویه دچار افت میشود. از لبه بالادست آبگیر به شدت کاهش مییابد و در وسط آبگیر قدرت جریان ثانویه به حداقل مقدار خود میرسد. پس از آبگیر در مقطع ۱۳۰ درجه نمودار قدرت جریان ثانویه مقدار ماکزیمم را نشان میدهد و پس از آن تا انتهای قوس به تدریج کاهش مییابد.

مطالعات صفرزاده (۲۰۰۶) روی میدان جریان در قوس ۱۸۰ درجه در حالت بدون حضور آبگیر جانبی نشان داد قدرت جریان ثانویه در مقطع ۶۰ درجه قوس دارای مقدار ماکزیمم است. از مقطع مزبور به بعد قدرت جریان ثانویه بتدریج کاهش یافته و از مقطع عرضی ۱۳۵۲=۵ تا °130=6 دارای مقدار نسبتاً ثابتی میباشد (شکل ۱۲).



شكل ١١- قدرت جريان ثانويه در مقاطع مختلف براساس معيار چرخش.



شکل ۱۲- تغییرات قدرت جریان ثانویه در طول کانال (صفرزاده, ۲۰۰۶).

در آزمایش ها مشاهده شد که با توجه به زاویه انحراف آبگیر (۴۵ درجه), خطوط جریان به صورت کاملاً ملایم و با ایجاد حداقل اغتشاش از لبه بالادست آبگیر وارد آبگیر می شوند، اما در گوشه پائین دست دهانه آبگیر، یک جریان چرخشی نسبتاً قوی تشکیل می شود و همین پدیده باعث انتقال حداکثر سرعت به ترازهای پائین تر و تمرکز ذرات پرسرعت در نزدیکی بستر می شود. در اثر این پدیده، گردایان قائم سرعت نزدیک بستر افزایش یافته و در نتیجه، تنش برشی نسبتاً قوی در این ناحیه به بستر کانال اعمال می شود (همان گونه که در شکل پیش بینی شده بود).

آزمایش آبشستگی روی بستر فرسایش پذیر نشان داد که فرسایش موضعی در دهانه آبگیر از لبه پایین دست آبگیر آغاز می گردد و سپس بر اثر اندرکنش جریان و رسوب, آبشستگی ایجاد شده در لبه پایین دست آبگیر به بالادست توسعه می یابد. پس از زمان تعادل, دو حفره آبشستگی در لبه بالادست و پایین دست آبگیر به وجود می آیند که عمق چاله پایین دست بیشتر است (شکل ۱۴). از مقایسه الگوی تنش برشی در آبگیری با کف صلب و تغییرات بستر حول آبگیر در بستر فرسایش پذیر می توان چنین نتیجه گرفت که الگوی تنش برشی در آبگیری با کف صلب می تواند معرف تغییرات بستر فرسایش پذیر در لحظات آغازین فرسایش باشد. محاسبه تنش برشی بستر در محدوده آبگیر: تنش برشی بستر براساس تنشهای رینولدز در نزدیکی بستر (در ایـن تحقیق به فاصله ۰/۵ سانتی متری از بستر) به صورت زیـر تحمین زده می شود (باربهویا و دی، ۲۰۰۳):

$$\tau_b = \sqrt{\tau_\theta^2 + \tau_r^2} \tag{(Y)}$$

بەطورىكە: ____ -

 $\tau_{\theta} = -\rho(\overline{w\,\dot{u}'} + \overline{v\,\dot{u}'}) \quad \forall \quad \tau_r = -\rho(\overline{u\,\dot{v}'} + \overline{w\,\dot{v}'}) \quad (\Upsilon)$ در این روابط 'u', v', w نوسانات مؤلف های μ_{u} سرعت, $\rho \overline{u' w'}, \rho \overline{u' w'}, \rho \overline{v' w'}$ تـــنش هــای بر شــی رينولدزي در نزديکي بستر و ho چگالي سيال است. تنش برشی بستر (T_b) با استفاده از میدان جریان اندازهگیری شده برای لایهای در تراز ۵ میلیمتری از بستر با استفاده از روابط فوق محاسبه شد و با تنش برشی بستر در قسمت بالادست قوس (To) بى بعد گرديد. محاسبات انجام شده براساس اندازه گیری میدان جریان, نشان میدهد لایه ۵/۰ سانتیمتری بستر, در قسمت لگاریتمی ناحیه قانون جداره لایه مرزی قرار دارد و برابری تنش برشی بستر با تنش برشی آشفته (تنشهای رینولدز) معتبر است. چگونگی محاسبات توسط وو و همکاران (۲۰۰۰) ارائه شده است. خطوط هم تنش در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده میشود در نیمه یاییندست آبگیر مقادیر تنش برشی حداکثر است و در اين نواحي احتمال وجود آبشستگي زياد ميباشد.



آبگیر نشاندهنده این مطلب است که عرض صفحه تقسیم جریان از کف به بالا ابتدا افزایش و سپس در نزدیکی لایههای سطحی کاهش مییابد. محاسبه قدرت جریان ثانویه نشان میدهد که حداکثر مقدار قدرت جریان ثانویه در مقطع ۴۵ درجه وجود دارد و پس از آن بر اثر مکش آبگیر بهشدت افت مینماید ضمن اینکه در مقطع ۱۳۵ درجه نیز مقدار ماکزیمم نسبی وجود دارد. از مقایسه الگوی تنش برشی در آبگیری با کف صلب و تغییرات بستر حول آبگیر در بستر فرسایشپذیر میتوان چنین نتیجه گرفت که الگوی تنش برشی در آبگیری با کف صلب میتواند معرف تغییرات بستر در لحظات آغازین فرسایش باشد.

نتيجه گيري

در این تحقیق میدان جریان در یک کانال قوسی با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه با حضور آبگیر جانبی در موقعیت ۱۱۵ درجه قوس توسط دستگاه سرعتسنج ۳ بعدی ADV اندازهگیری گردید.

خطوط جریان در مقاطع عرضی نشان میدهد با ورود جریان به قوس, یک جریان ثانویه اصلی و یک سلول چرخش در قسمت فوقانی قوس خارجی شکل میگیرد. با رسیدن به آبگیر جریان ثانویه بهطور کامل تحت اثر مکش آبگیر از بین میرود. در مقاطع بعد از آبگیر بهعلت مکش آبگیر هسته جریان ثانویه از قوس داخلی جدا میشود و یک سلول چرخشی در قسمت فوقانی قوس داخلی تشکیل میشود. الگوی سهبعدی جریان اطراف

منابع

- 1. Abulghasemi, M. 2006. Sediment Control at Lateral Intakes in River Meander, PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- 2. Avery, P. 1989. Sediment control at intakes, British Hydromechanics Research Association, The Fluid Engineering Center, Cornfield, Bedford, England.
- 3.Barbhuiya, A.K., and Dey, S. 2003. Measurement of turbulent flow field at a vertical semicircular cylinder attached to the sidewall of a rectangular channel, J. of Flow Measurement and Instrumentation, 87–96.
- 4.Blanckaert, K. and Graf, W.H. 2001. Mean flow and turbulence in open channel bend, J. Hydr. Engrg, ASCE, 127 (10).
- 5.Blench, T., Bondurant, D.C., and Thomas, A.R. 1952. Discussions of Diversions from alluvial channels, Trans., ASCE, 78 (D-112), 1–7.
- 6.Daily, W. and Harleman, D. 1966. Fluid dynamics, Addison Wesley Publishing Company.
- 7.Dehghani, A.A. 2006. experimental study on flow field and scouring at lateral intake in 180 degree channel bend, PhD Thesis, Faculty of Engineerig, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- 8. Habermass, F. 1955. Sediment Motion in Channel Bifurcation (in Dutch: Wasserkraft und Wasserwirthchaft) No. S9 and 10.
- Joglekar, D. 1959. Manual on River Behavior, Control and Training. Irrigation and Power, pp. 177-190.
- Neary, V.S., and Odgaard, A.J. 1993. Three-dimensional flow structure at open channel diversions, J. Hydr. Eng., ASCE, 119 (11), 1224–1230.
- 11.Neary, V., Sotiropoulos, F., and Odgaard, A.J. 1999. Three-Dimensional Numerical Model of Lateral-Intake Inflows, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.125, No. 2, pp. 126-140.
- 12.Odgaard, A.J. 1982. Bed characteristics in alluvial channel bends, J. Hydraulic Div., 108 (11), 1268-1281.
- 13.Odgaard, A.J., and Bergs, M.A. 1988. Flow processes in a curved alluvial channel, Water Resour. Res., 24 (1), 45-56.
- 14.Pirestani, M. 2004. Investigation on flow field and scouring at lateral intake in channel bends, PhD Thesis, Islamic Azad University, South Tehran branch .
- Razvan, E. 1989. River Intake and Diversion Dams, Elsevier Science Publishing Company Inc. New York, NY. 10010, USA.

- 16.Rozovskii, I.L. 1961. Flow of water in bends of open channels, No. OTS60-51133, Y. Prushansky, Office of Technical Services, U. S. Dept. of Commerce, Washington, D.C.
- 17.Safarzadeh, A. 2005. Numerical Simulation of Flow Field at Lateral Intake in 180 degree Channel Bend, Ms. Thesis, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- 18.Sarker, Md.A. 1998. Flow measurement around scoured bridge piers using Acoustic Doppler Velocimeter (ADV), J. of Flow Measurement and Instrumentation, 217–227.
- 19. Toru, K., 1975. Design of Irrigation Water Intake, ICID, 9th Congress Moscow, 35: 311-352.
- 20. Vanoni, V.A. 1975. Sedimentation engineering, American Society of Civil Engineers, New York.
- 21.Wu, W., Rodi, W., and Wenka, T. 2000. 3D Numerical Modeling of Flow and Sediment Transport in Open Channels, Journal of Hydraulic Engineering.

J. Agric. Sci. Natur. Resour., Vol. 15(2), Jun-July 2008 www.jasnr.info www.sid.ir www.magiran.com/jasnr

Experimental investigation of 3D flow field and scouring in a U shape rectangular channel with a lateral intake

H. Montaseri¹, ^{*}M. Ghodsian², M. Shafieefar³, S.A. A. Salehi Neyshabouri⁴ and A.A. Dehghani⁵

¹Ph.D Candidate, Dept. of Civil Eng. Tarbiat Modares University, Iran, ²Professor Water Eng. Research Center, Tarbiat Modares University, Iran, ³Associate Prof., Water Eng. Research Center, Tarbiat Modares University, Iran, ⁴Professor Water Eng. Research Center, Tarbiat Modares University, Iran, ⁵Assistant Prof., Dept. of Water Eng. Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Iran

Abstract

The essential characteristic of river bend is presence of secondary flow. Due to secondary flow, sediment moves away from the outer bank toward the inner bank and therefore the outer bank of river bend is one of the best locations for lateral diversion. The mechanism of flow in a channel bend is much more complex when the outer bank of the bend is used for lateral diversion. The study of flow field at lateral intakes is useful for the engineering engaged in designing such structures. In this paper, a three-dimensional turbulent flow field in a 180 degree channel bend with a lateral intake at position 115 degree was measured by an Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). The distribution of timeaveraged velocity components at various plan and cross sections show that there is a circulation in the outer bank in addition to the main secondary flow. The results also show that the width of dividing stream surface in upper layers is greater than the layers close to the bed and the maximum width occurs below the water surface. The strength of secondary flow in various sections of the bend was also calculated using vortex strength criteria. It was found that the maximum strength of secondary flow occurs at section 45 degree of the bend. However there is another local peak value around section 135 degree. The bed shear stresses in the vicinity of the intake are determined by Reynolds shear stresses. For assessing the calculated bed shear stress, the experiments were also conducted on local scour around lateral intake in clear water condition.

Keywords: Lateral diversion; Channel bend; 3-Dimensional flow; Strength of secondary flow.

^{*-} Corresponding Author; Email: ghods@modares.ac.ir