

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

حسین منتصری^۱، *مسعود قدسیان^۲، مهدی شفیعی فر^۳، سیدعلی اکبر صالحی نیشابوری^۴
و امیراحمد دهقانی^۵

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس، استاد پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس،

^۲ دانشیار پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، استاد پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس،

^۳ استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۶/۵/۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱/۲۷

چکیده

مشخصه اصلی جریان در قوس رودخانه‌ها وجود جریان حلزونی است که باعث می‌شود تمایل بردارهای 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 آبیگری به‌شمار می‌رود. میدان جریان در اطراف آبیگرهای جانبی، کاملاً سه‌بعدی و پیچیده می‌باشد و جانمایی آبیگر در قوس رودخانه باعث افزایش پیچیدگی این الگوی جریان می‌شود. شناخت الگوی جریان در اطراف آبیگر واقع در قوس رودخانه می‌تواند مهندسی را در طراحی بهتر آن یاری نماید. در تحقیق حاضر به‌منظور شناخت میدان جریان حول آبیگر جانبی در قوس و تأثیر آبیگر روی میدان جریان در قوس، میدان جریان در یک کانال قوسی با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه با حضور آبیگر 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 آبیگر، سلول چرخشی دوم در قسمت فوقانی جداره داخلی قوس تشکیل می‌گردد. الگوی سه‌بعدی جریان جلوی آبیگر نشان می‌دهد عرض صفحه تقسیم جریان جلوی آبیگر که در لایه‌های بالایی بیشتر از لایه‌های پایینی جریان است، در نزدیک سطح مقداری کاهش می‌یابد. محاسبه قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس با حضور آبیگر 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 ۰/۵ سانتی‌متری از بستر، تنش برشی بستر در محدوده آبیگر محاسبه شد. به‌منظور مقایسه میدان تنش برشی محاسبه شده با الگوی آبستنگی موضعی اطراف دهانه آبیگر، آزمایش‌هایی روی بستر فرسایش‌پذیر و در حالت شرایط آب زلال نیز انجام گردید.

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

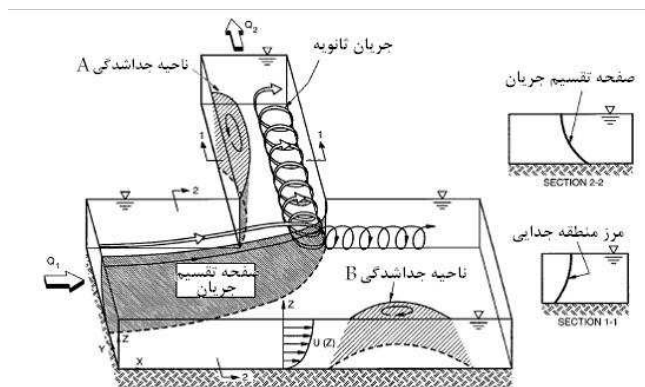
* - مسئول مکاتبه: ghods@modares.ac.ir

مقدمه

مشخصه اصلی جریان در خم رودخانه‌ها وجود جریان حلزونی است که از اندرکنش جریان ثانویه و جریان اصلی به وجود می‌آید. جریان ثانویه نیز بر اثر اختلاف نیروهای گریز از مرکز بین لایه‌های بالایی و پایینی جریان ایجاد می‌شود. وجود جریان حلزونی در قوس رودخانه‌ها باعث می‌شود 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 می‌شود. از این رو، جداره خارجی قوس رودخانه‌ها، مکان مناسبی برای آبرگیری خواهد بود. برای بهره‌برداری کامل از مزیت خم رودخانه، موقعیت آبرگیر باید در مقطعی از قوس که جریان حلزونی به توسعه یافتگی کامل رسیده، قرار گیرد.

وضعیت شماتیک جریان در یک آبرگیر 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 آبرگیر، به خاطر فشار مکشی اعمالی از طرف آبرگیر جانبی، جریان در جهت عرضی شتاب گرفته و به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمتی وارد آبرگیر شده و بقیه در کانال اصلی به طرف پایین دست، جریان می‌یابد. قسمتی که وارد کانال انشعاب

می‌شود، توسط صفحه برشی خمیده‌ای معین می‌شود که به صفحه تقسیم‌کننده جریان^۱ معروف است. جریانی که وارد آبرگیر می‌شود، دارای سرعت جانبی شدیدی در جهت کانال اصلی بوده و به همین علت داخل آبرگیر، جدایی جریان اتفاق می‌افتد (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 آبرگیر دچار عدم تعادل شده و همین پدیده باعث ایجاد جریان ثانویه‌ای در طول آبرگیر می‌شود که مکانیسم تشکیل آن شبیه مکانیسم تشکیل جریان حلزونی در قوس‌ها می‌باشد، به طوری که صفحه تقسیم‌کننده جریان به عنوان دیواره بیرونی عمل کرده و ناحیه قوسی شکل ایجاد شده توسط ناحیه جدایی جریان داخل آبرگیر (ناحیه A در شکل ۱)، دیواره داخلی قوس مزبور را تشکیل می‌دهد. پس از آنکه رسوبات مجاور کف به داخل آبرگیر منتقل گردیدند، جریان ثانویه رسوبات را به داخل ناحیه جدایی جریان، یعنی جایی که جریان از دیواره بالادست آبرگیر جدا شده، هدایت می‌کند. رسوبات با وجود سرعت‌های کم نمی‌توانند از منطقه جداسازی منتقل شوند، در نتیجه امکان ته‌نشینی رسوبات و انسداد مسیر جریان به وجود می‌آید (نیری و همکاران، ۱۹۹۹).



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

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 بر روی یک انشعاب ۹۰ درجه توسعه داده و با نتایج آزمایشگاهی صحت‌یابی کردند.

بر روی آبرگیری از خم رودخانه‌ها نیز تحقیقاتی صورت پذیرفته است. از جمله این افراد می‌توان 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 آبرگیر در نیمه دوم قوس خارجی و در جایی که جریان ثانویه کاملاً توسعه یافته است، مناسب است. رضوان (۱۹۸۹) موقعیت مناسب آبرگیر در انحنای رودخانه‌ها را در محدوده سه چهارم زاویه مرکزی پیشنهاد نمود. آزمایش‌های پیرستانی (۲۰۰۴) روی الگوی جریان و موقعیت آبرگیر در قوس ۱۸۰ درجه روی کف صلب انجام گرفت و در هر موقعیت الگوی جریان حوالی آبرگیر با استفاده از یک سرعت‌سنج دوبعدی برداشت گردید که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در موقعیت آبرگیری ۱۱۵ درجه، برای کلیه اعداد فرود، بیشترین دبی نسبی انحرافی در واحد عرض مربوط به زاویه آبرگیری 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 آبرگیر موردنظر باشد، محل آبرگیری ۱۱۵ درجه و زاویه آبرگیری ۶۰ درجه نسبت به محل‌های دیگر، توصیه شد. دهقانی (۲۰۰۶) با نصب آبرگیر در ۵ موقعیت ۹۰، ۱۰۲/۵، ۱۱۵، ۱۳۵ و ۱۵۰ درجه در نیمه دوم قوس خارجی کانال قوسی ۱۸۰ درجه، به بررسی میزان رسوب ورودی به آبرگیر پرداخت. در آزمایش‌های ایشان از چهار زاویه آبرگیری ۷۵، ۶۰، ۴۵ و ۳۰ استفاده شد. نتایج تحقیق دهقانی (۲۰۰۶) نشان داد که محدوده بین ۱۱۵ تا ۱۳۵ درجه برای آبرگیری مناسب است. وی زاویه آبرگیری ۴۵ درجه را در محدوده آزمایش‌های خود توصیه نمود.

جانمایی آبرگیر در قوس خارجی رودخانه‌ها و تلفیق جریان حلزونی قوس و الگوی جریان پیچیده جلوی آبرگیر، بر پیچیدگی الگوی جریان سه‌بعدی می‌افزاید. شناخت الگوی جریان در اطراف آبرگیر واقع در قوس رودخانه می‌تواند مهندسين را در طراحی بهتر آن یاری نماید. در تحقیق حاضر با اندازه‌گیری سه‌بعدی میدان جریان روی بستر صلب در یک قوس ۱۸۰ درجه همراه با آبرگیر جانبی، به بررسی الگوی جریان و تأثیر آبرگیر بر میدان جریان قوس پرداخته شده است.

مروری بر مطالعات انجام شده: جریان در کانال‌های قوسی به‌صورت وسیعی هم‌به‌صورت تحلیلی و هم آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در این زمینه می‌توان از محققینی چون رزوفسکی (۱۹۶۱)، ادگارد (۱۹۸۲) و ادگارد و برگس (۱۹۸۸) نام برد. ادگارد و برگس (۱۹۸۸) با انجام آزمایش‌هایی بر روی کانال ۱۸۰ درجه با مقطع دوزنقه‌ای 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 نوسانی‌بردار عرضی سرعت در امتداد طولی کانال معرفی نمودند.

مطالعات متعددی نیز روی الگوی جریان در آبرگیری 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. بلانچ و همکاران (۱۹۵۲) را می‌توان جزء اولین محققینی عنوان کرد که بر روی الگوی جریان در دهانه آبرگیر و جریان‌های انحرافی مطالعاتی را انجام داده‌اند. نیری و ادگارد (۱۹۹۳) مطالعات آزمایشگاهی خود را بر روی هیدرولیک جریان در آبرگیرهای ۹۰ درجه در مسیر مستقیم انجام دادند و الگوی جریان، خط تقسیم جریان، ناحیه سکون و ناحیه جدایی جریان را بررسی کردند و نشان دادند عرض صفحه تقسیم جریان جلوی آبرگیر در کف

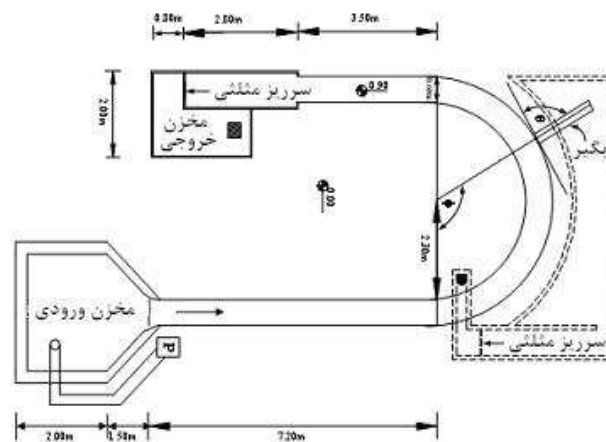
مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک کانال قوسی با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه، شعاع متوسط ۲/۶ متر و با عرض ۰/۶ متر انجام شد. در قسمت بالادست قوس یک کانال مستقیم به طول ۷/۲ متر و در پایین دست قوس، کانال مستقیمی به طول ۵/۲ متر وجود دارد. کف و دیواره‌های کانال از جنس شیشه می‌باشد (شکل ۲).

در موقعیت ۱۱۵ درجه از قوس، کانال آبگیر با زاویه ۴۵ درجه نسبت به امتداد جریان در کانال اصلی نصب گردید. عرض و طول کانال آبگیر به ترتیب 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 بر روی لوله‌های ورودی آب نصب شده است، اندازه‌گیری و با سرریز 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 ۰/۰۱ میلی‌متر می‌باشد، اندازه‌گیری می‌شود. دبی انحرافی

کانال آبگیر نیز با استفاده از سرریز مثلثی که در انتهای حوضچه تخلیه آبگیر جانبی قرار دارد، تعیین می‌گردد. در این تحقیق میدان جریان در قوس و حول آبگیر جانبی با استفاده از یک سرعت‌سنج سه‌بعدی ADV^۱ اندازه‌گیری گردید. دستگاه سرعت‌سنج روی فرکانس ۵۰ هرتز تنظیم شد و زمان اندازه‌گیری نوسانات برابر ۱ دقیقه انتخاب گردید. زمان جمع‌آوری 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 اندازه‌گیری 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 اندازه‌گیری 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، اندازه‌گیری سرعت آغاز می‌شود.



شکل ۲- مشخصات فلوم آزمایشگاهی.

شکل ۳ توزیع قائم مؤلفه سرعت مماسی U متوسط‌گیری 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 می‌شود و با افزایش تراز، افزایش می‌یابد، اما در مقاطع جلوتر، شکل پروفیل از حالت لگاریتمی خارج می‌شود به گونه‌ای که مقدار سرعت مماسی در تراز کف از مقدار صفر شروع می‌شود، سپس با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد، اما از تقریباً میانه عمق جریان مقدار آن کمی کاهش می‌یابد (مقطع ۹۰ درجه). این پدیده در مقاطع بعد از آبگیر نیز تا پایان قوس وجود دارد، اما از شدت آن کاسته می‌شود (مقاطع ۱۳۰ و ۱۴۰ درجه). دلیل این امر وجود جریان ثانویه در قوس می‌باشد که در سطح دارای مومتوم جانبی به سمت قوس خارجی و در کف دارای مومتوم جانبی به سمت قوس داخلی است. این پدیده در قوس داخلی آشکارتر است.

شکل ۴ توزیع قائم سرعت شعاعی متوسط‌گیری 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 شکل‌گیری 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 اندازه‌گیری الگوی جریان، آزمایشی نیز با بستر فرسایش‌پذیر انجام گردید. در این آزمایش ابتدا لایه‌ای رسوبی از جنس ماسه به ضخامت تقریباً ۲۰ سانتی‌متر و با قطر میانگین $1/28$ میلی‌متر و با 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 انتهایی آبگیر جانبی را بسته و آب با دبی کم از انتهای کانال اصلی وارد شده و هنگامی که تراز آب به حد بالایی رسید، پمپ با دبی کم راه‌اندازی و اجازه داده شد تا سطح آب درون کانال بالا بیاید. علت این امر آنست که رسوبات قبل از رسیدن دبی جریان به مقدار موردنظر برای انجام آزمایش‌ها، حرکت نمایند. 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 انتهایی آبگیر، عمق جریان درون کانال مستقیم بالادست قوس تنظیم می‌گردد، به گونه‌ای که شرایط آب زلال ($u_c/u_c=0.9$) که 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 $4/5$ 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 برداشت‌کننده بستر انجام شد.

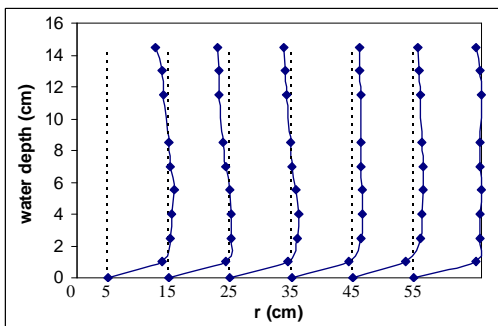
بحث و نتیجه‌گیری

توزیع قائم مؤلفه‌های U , V و W : توزیع قائم مؤلفه‌های سرعت در مقاطع عرضی مختلف در صفحه $I-Y$ در ادامه بررسی می‌گردند. راستای شعاعی است که از قوس داخلی اندازه‌گیری شده است و Y راستای قائم می‌باشد (شکل ۳).

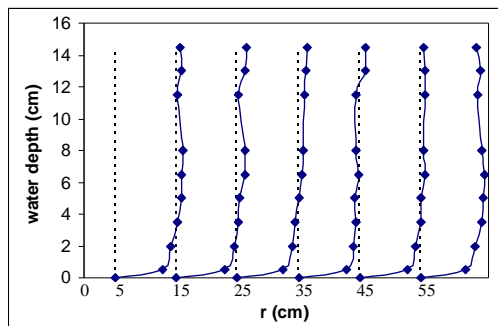
که دلیل آن وجود جریان ثانویه در قوس است که جهت آن ساعتگرد و در سطح به سمت قوس خارج و در کف به سمت قوس داخل می‌باشد. همچنین، ترکیب جریان ثانویه و مکش آبگیر باعث شده است که مقادیر منفی W در قوس خارجی بزرگتر از مقادیر مثبت W در قوس داخلی باشند، از این رو هسته جریان ثانویه به سمت قوس داخلی متمایل خواهد بود.

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.

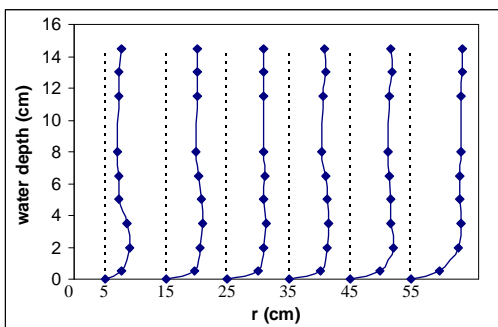
ضمن این که حالت نوسانی خود را حفظ می‌نمایند ولی شدت نوسان کمتر شده است. علت نوسانی بودن مؤلفه شعاعی سرعت، عدم تعادل موضعی بین نیروی گریز از مرکز قوس و گرادیان فشار جانبی که بر اثر تغییر تراز سطح آب در قوس داخل و خارج اتفاق می‌افتد، می‌باشد. مطالعات ادگار و برگس (۱۹۸۸) روی الگوی جریان در قوس ۱۸۰ درجه بدون آبگیر جانبی نیز بیانگر نوسانی بودن مؤلفه سرعت عرضی در امتداد قوس خارجی است. توزیع قائم مؤلفه سرعت عمودی متوسط‌گیری شده زمانی به عنوان نمونه در مقاطع عرضی ۲۰ و ۹۰ درجه در شکل ۶ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود توزیع قائم W در مجاورت قوس داخلی دارای مقادیر مثبت است و با فاصله گرفتن از قوس داخلی دارای مقادیر منفی می‌شود



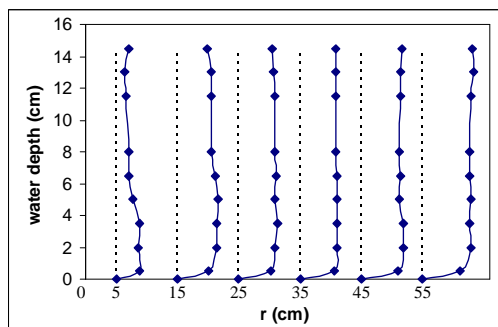
ب- مقطع ۹۰ درجه



الف- مقطع ۲۰ درجه

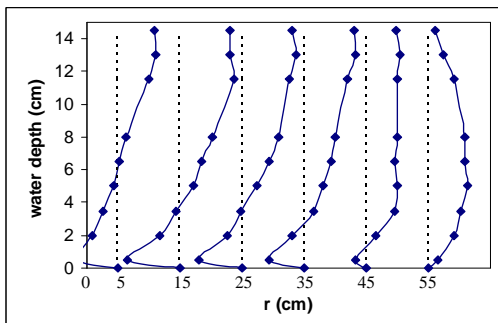


د- مقطع ۱۴۰ درجه

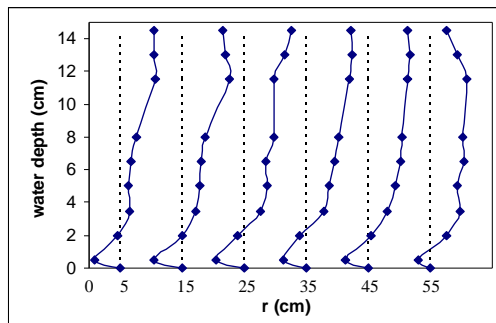


ج- مقطع ۱۳۰ درجه

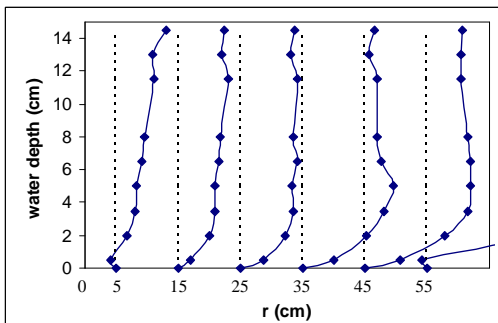
شکل ۳- توزیع قائم مؤلفه سرعت مماسی U در مقاطع مختلف.



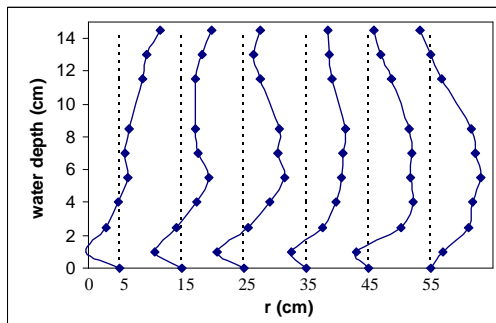
الف - مقطع ۴۰ درجه



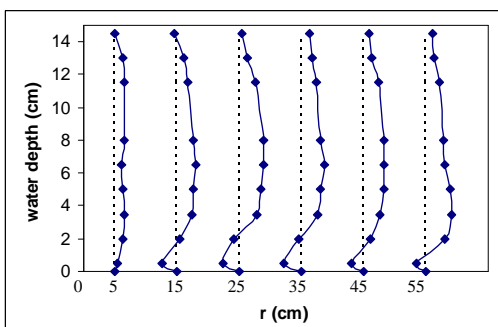
الف - مقطع ۲۰ درجه



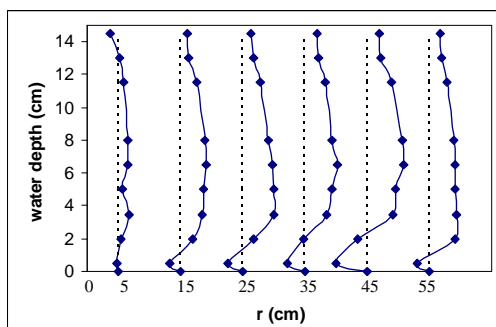
د- مقطع ۱۱۹ درجه



ج- مقطع ۹۰ درجه



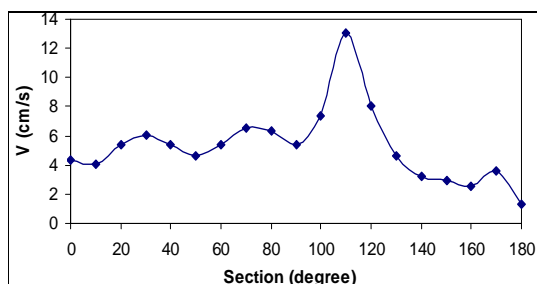
ز- مقطع ۱۴۰ درجه



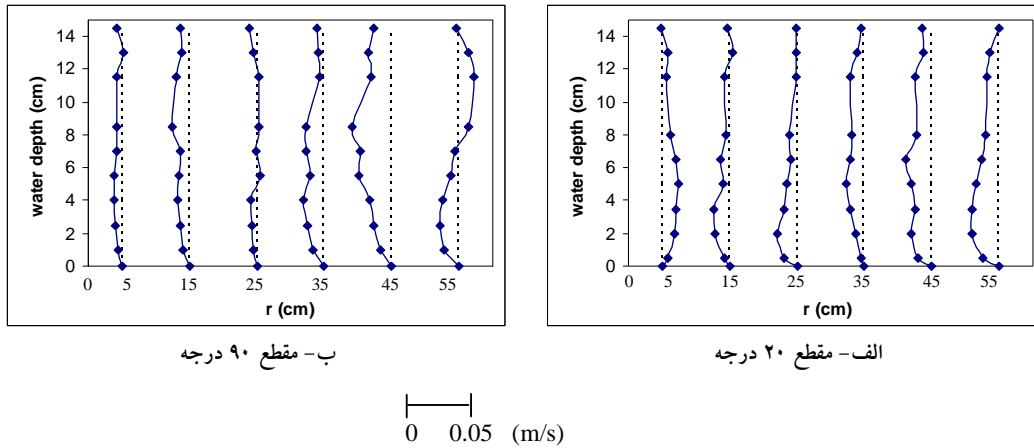
ه- مقطع ۱۳۰ درجه

0 0.1 (m/s)

شکل ۴- توزیع قائم مؤلفه سرعت شعاعی V در مقاطع مختلف.



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



شکل ۶- توزیع قائم مؤلفه سرعت عمودی W در مقاطع مختلف.

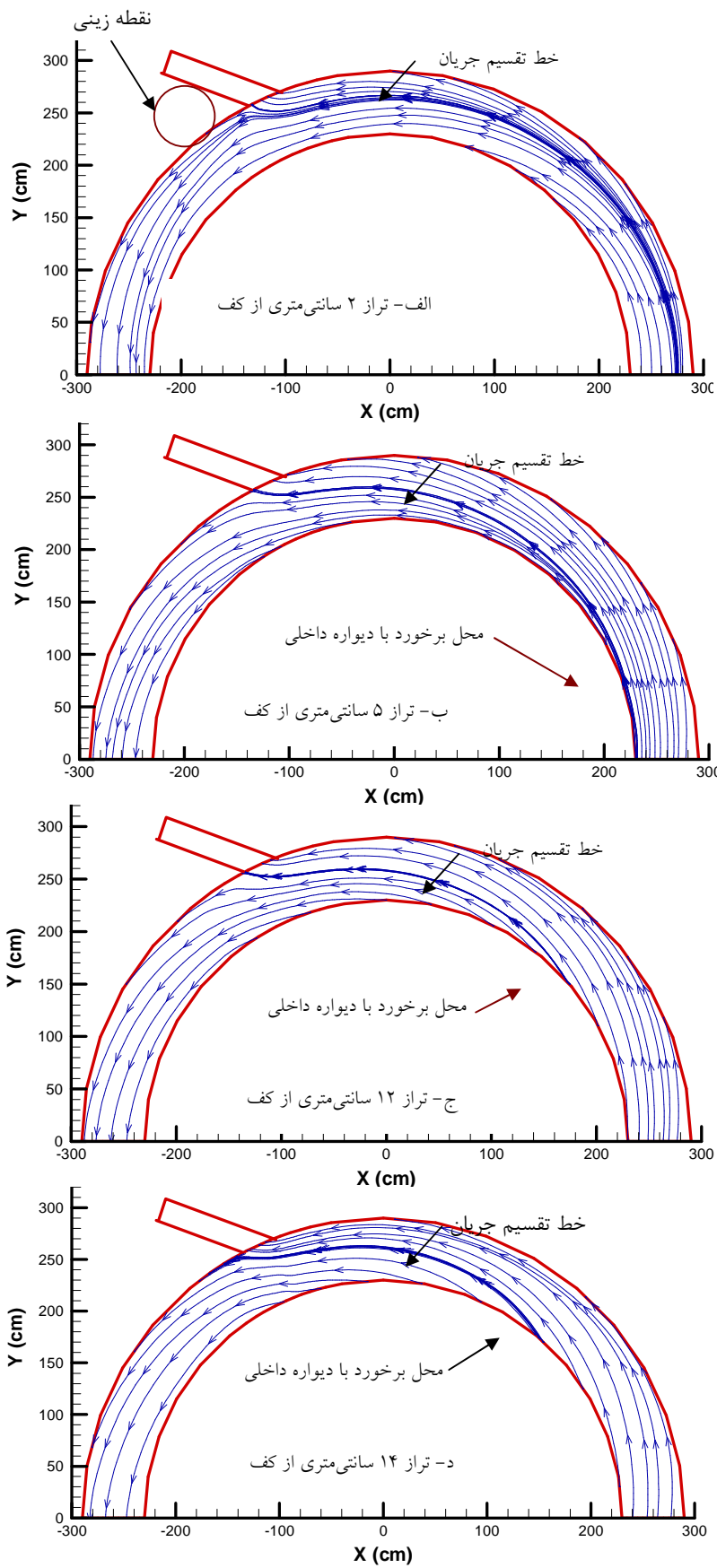
را آشکار می‌سازد. دلیل این پدیده وجود جریان حلزونی در قوس است.

نکته مهم دیگری که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود 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 می‌گردد. 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.

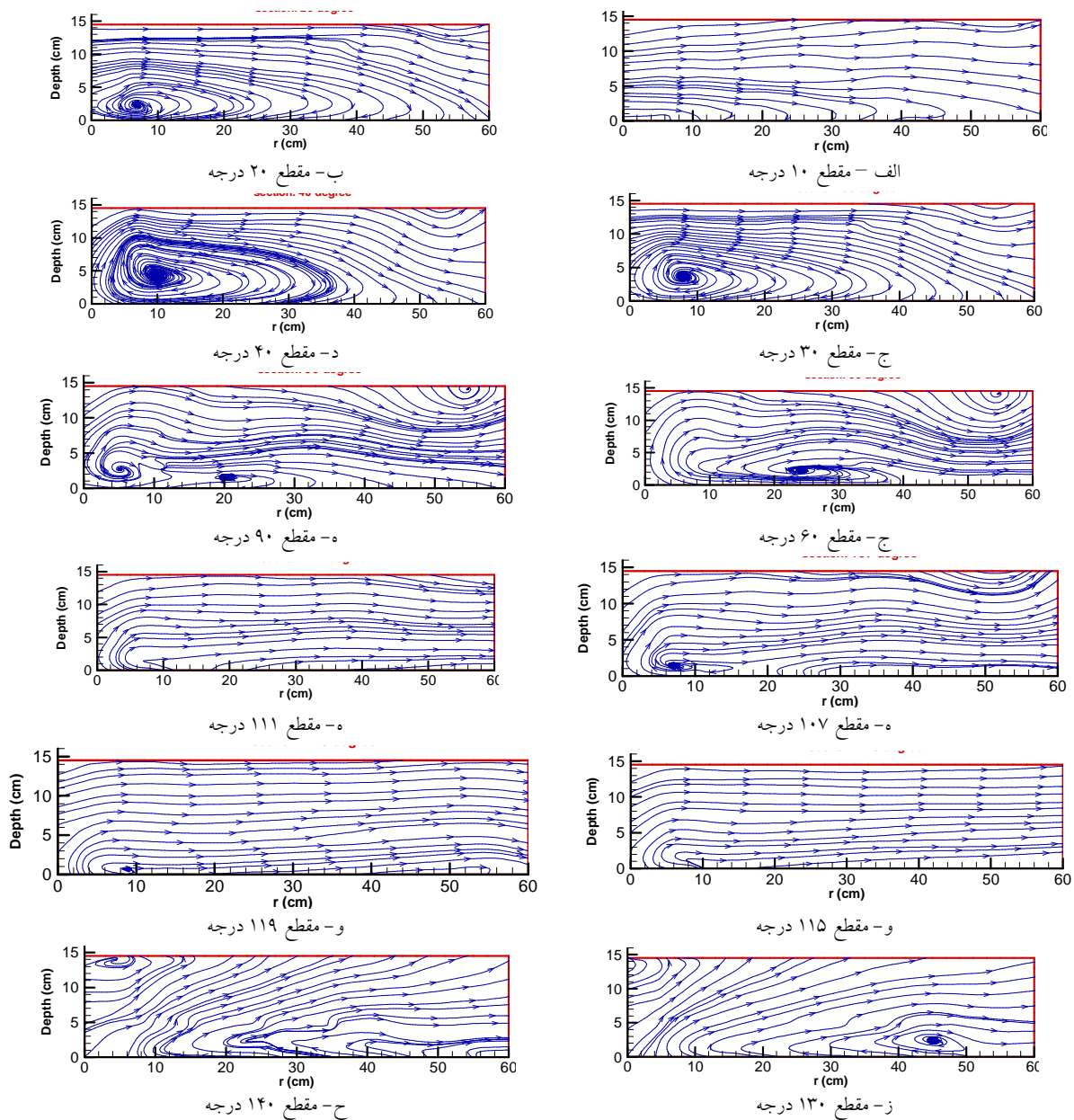
خطوط جریان در مقاطع عرضی: در شکل ۸ خطوط جریان در مقاطع عرضی نشان داده شده است. خطوط دارای بزرگی $V_{r\theta} = \sqrt{(v^2 + w^2)}$ و جهت $tg^{-1}(w/v)$ در هر نقطه می‌باشند، ترسیم شده‌اند.

خطوط جریان در ترازهای مختلف: به منظور ترسیم خطوط جریان در ترازهای مختلف، اندازه‌گیری سرعت در امتداد خطوط شعاعی و در ترازهای مختلف انجام شده است. در شکل ۷ خطوط جریان در ترازهای مختلف نشان داده شده است. این خطوط براساس بردارهای سرعت در صفحات افقی که دارای بزرگی $V_{r\theta} = \sqrt{(u^2 + v^2)}$ و جهت $Arctg(u/v)$ در هر نقطه می‌باشند، ترسیم شده‌اند. در این شکل‌ها 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 پایین دست 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



شکل ۷- خطوط جریان در ترازهای مختلف از بستر.



شکل ۸- خطوط جریان در مقاطع عرضی مختلف.

می‌گیرد. هسته این جریان ثانویه در قوس داخلی قرار دارد، ضمن این‌که سلول چرخشی نیز که جهت آن خلاف جریان ثانویه اصلی است، به‌طور کامل تشکیل شده است. این سلول چرخشی در قسمت فوقانی قوس خارجی توسط بلانکارت و همکاران (۲۰۰۱) نیز با اندازه‌گیری آزمایشگاهی روی یک قوس ۱۲۰ درجه گزارش شده

جریان با ورود به قوس، تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز قرار می‌گیرد و یک جریان ثانویه در قوس شروع به شکل‌گیری می‌کند، ضمن این‌که یک سلول چرخشی دیگر نیز در قسمت فوقانی جداره خارجی به‌وجود می‌آید (مقطع ۱۰ درجه). در مقطع ۲۰ درجه جریان ثانویه کامل‌تر می‌شود و در مقطع ۴۰ درجه به‌طور کامل شکل

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

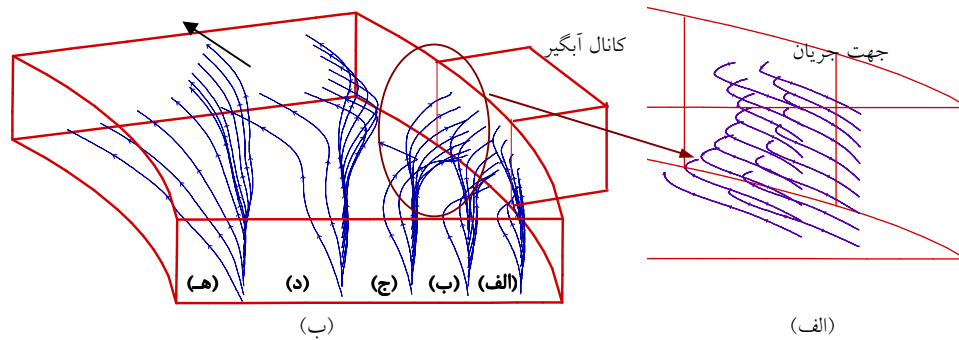
خطوط جریانی که در محدوده خط تقسیم جریان آبگیر قرار دارند، با نزدیک شدن به آبگیر به طور کامل به سمت آبگیر متمایل می شوند (شماره های ۱، ۲ و ۳ در شکل ۹- الف). ملاحظه می شود که خطوط جریان در لایه های بالایی بیشتر از خطوط جریان در لایه های پایینی به سمت آبگیر متمایل می شوند اما لایه های سطحی کمتر از لایه های میانی به سمت آبگیر متمایل می گردند (شکل ۹- ب) که علت آن اختلاف تنش برشی بین لایه های سیال و لایه سطحی با هوا می باشد. خطوط جریان عبوری از وسط عرض جریان، تحت تأثیر گوشه پایین دست آبگیر به سمت آبگیر متمایل می شوند (شکل ۹- د).

با دور شدن از دهانه آبگیر در عرض کانال، تأثیر مکش آبگیر به تدریج کاهش می یابد و از نیمه کانال به سمت قوس داخلی که تأثیر کمی از آبگیر می پذیرد، جریان حلزونی موجود در قوس به طور کامل شکل می گیرد (شکل ۹- ه). در این شکل ملاحظه می گردد که در جریان حلزونی موجود در قوس نیز، خطوط جریان در لایه سطحی کمتر از لایه میانی به سمت قوس خارج متمایل هستند.

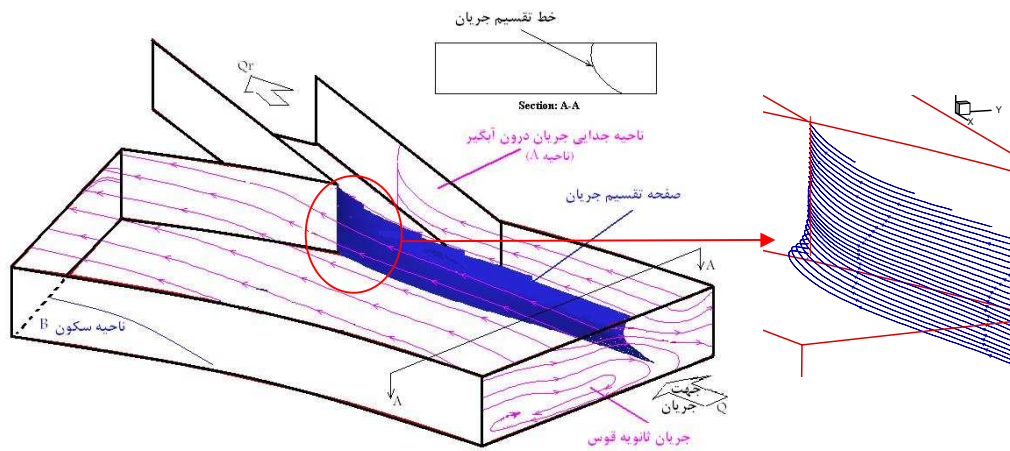
است، اما مطالعات عددی صفرزاده (۲۰۰۴) روی میدان جریان در قوس ۱۸۰ درجه با حضور آبگیر جانبی توسط نرم افزار فلونت این سلول چرخشی را نشان نداده است. بلانکارت و همکاران (۲۰۰۱) ناهمگنی تنش های قائم رینولدز داخل مقطع را عامل اصلی ایجاد سلول چرخشی دوم در نزدیک دیواره خارجی عنوان کرده اند.

از مقطع ۴۵ درجه جریان تحت تأثیر مکش آبگیر قرار می گیرد و هسته جریان ثانویه مقطع از قوس داخلی جدا می شود اما سلول چرخشی نزدیک جدار خارجی قوی تر می گردد (مقطع ۶۰ درجه). از مقطع ۱۰۷ درجه جریان ثانویه قوس تحت مکش شدید آبگیر قرار می گیرد و جریان ثانویه شروع به زوال می نماید و در مقطع ۱۱۵ درجه (وسط آبگیر) به دلیل مکش آبگیر و ایجاد مومتوم جانبی قوی، جریان ثانویه به طور کامل از بین می رود. 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 فوقانی قوس داخلی تشکیل می گردد (مقطع ۱۳۰ و ۱۴۰ درجه). این سلول چرخشی ناشی از ناحیه سکون نزدیک قوس داخلی می باشد 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 می نماید.

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



شکل ۹- الگوی سه بعدی جریان جلوی آبگیر.



شکل ۱۰- صفحه تقسیم جریان آبگیر جانبی در قوس.

تفاوت تنش برشی بین لایه‌های 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 پایین دست 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 لایه‌های سطحی اشاره نکرده‌اند. ضمن اینکه پروفیل سه بعدی صفحه تقسیم جریان در قوس نیز ارائه شده است.

پروفیل سه بعدی صفحه تقسیم جریان جلوی آبگیر در قوس در شکل ۱۰ نشان داده شده است. این صفحه براساس خطوط جریان متقاطع با ضلع پایین دست آبگیر و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری سه بعدی جریان ترسیم شده است. در این شکل جریان برگشتی در لبه پایین دست 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

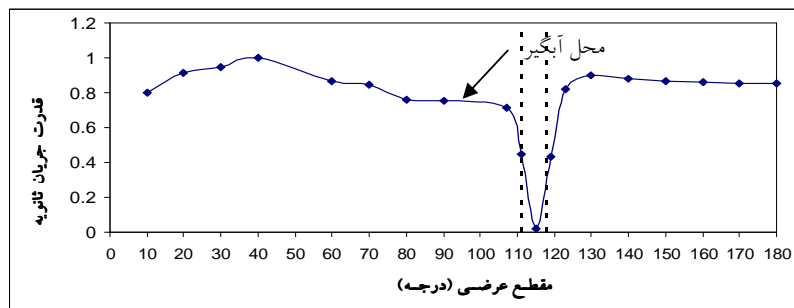
آن بدون بعد شده است، در مقاطع عرضی در طول قوس و محدوده آبگیر نشان داده شده است. روشن است که جریان ثانویه تا مقطع ۴۵ درجه رشد می‌کند و در مقطع ۴۵ درجه جریان ثانویه به حداکثر قدرت خود می‌رسد و پس از مقطع ۴۵ درجه به علت اثر مکش آبگیر، قدرت جریان ثانویه دچار افت می‌شود. از لبه بالادست آبگیر به شدت کاهش می‌یابد 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 $\theta=110^\circ$ تا $\theta=130^\circ$ دارای مقدار نسبتاً ثابتی می‌باشد (شکل ۱۲).

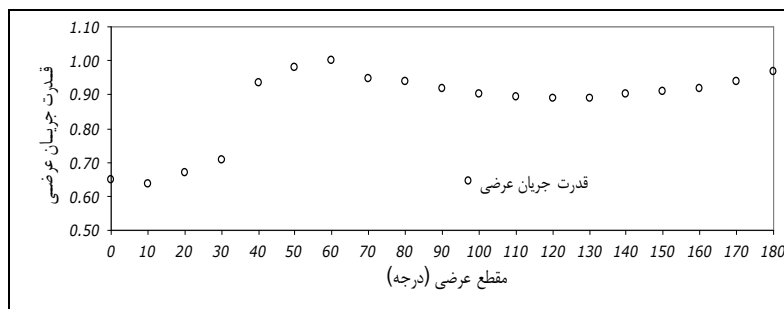
تغییرات قدرت جریان ثانویه در قوس: در این قسمت با استفاده از میدان جریان اندازه‌گیری شده، اثر آبگیر روی قدرت جریان ثانویه در قوس به صورت کمی بررسی شده است. معیار مهمی که برای قدرت جریان ثانویه در مراجع بدان اشاره شده است، معیار چرخش می‌باشد. طبق تعریف، نرخ خالص چرخش پادساعتگرد یک المان به ابعاد $\Delta x \times \Delta y$ حول محور Z، قدرت گرداب نامیده شده و به صورت معادله ۱ قابل بیان است که در این رابطه $\vec{\omega}_z$ قدرت گرداب می‌باشد (دیلی و هارلمن، ۱۹۶۶):

$$\vec{\omega}_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (1)$$

به منظور محاسبه قدرت جریان ثانویه در قوس با حضور آبگیر جانبی با استفاده از روش فوق، هر مقطع عرضی براساس شبکه‌بندی که برای اندازه‌گیری جریان به کار برده شد، المان‌بندی گردید و ω_z برای هر المان محاسبه و با متوسط‌گیری از مقادیر فوق، قدرت متوسط جریان ثانویه در هر مقطع عرضی حاصل گردید. در شکل ۱۱، قدرت جریان ثانویه متوسط که با حداکثر مقدار



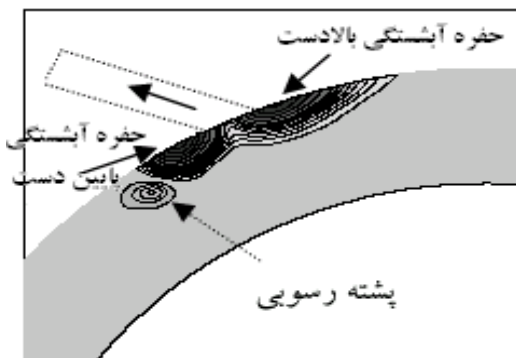
شکل ۱۱- قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف براساس معیار چرخش.



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

در آزمایش‌ها 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 می‌شوند، اما در گوشه پائین دست دهانه آبگیر، یک جریان چرخشی نسبتاً قوی تشکیل می‌شود و همین پدیده باعث انتقال حداکثر سرعت به ترازهای پائین‌تر و تمرکز ذرات پسرعت در نزدیکی بستر می‌شود. 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 می‌شود (همان‌گونه که در شکل پیش‌بینی شده بود).

آزمایش آبستنگی روی بستر فرسایش‌پذیر نشان داد که فرسایش موضعی در دهانه آبگیر از لبه پایین دست آبگیر آغاز می‌گردد و سپس بر اثر اندرکنش جریان و رسوب، آبستنگی ایجاد شده در لبه پایین دست آبگیر به بالادست توسعه می‌یابد. پس از زمان تعادل، دو حفره آبستنگی در لبه بالادست و پایین دست آبگیر به وجود می‌آیند 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 فرسایش‌پذیر می‌توان چنین نتیجه گرفت که الگوی تنش برشی در آبگیری با کف صلب می‌تواند معرف تغییرات بستر فرسایش‌پذیر در لحظات آغازین فرسایش باشد.



شکل ۱۴- خطوط هم‌تراز بستر برای آبستنگی.

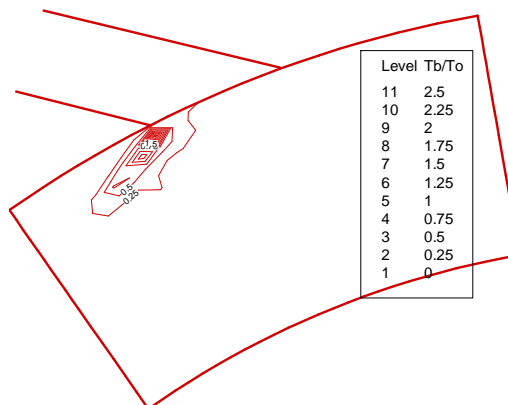
محاسبه تنش برشی بستر در محدوده آبگیر: تنش برشی بستر براساس تنش‌های رینولدز در نزدیکی بستر (در این تحقیق به فاصله ۰/۵ سانتی‌متری از بستر) به صورت زیر تخمین زده می‌شود (باربویا و دی، ۲۰۰۳):

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

به طوری که:

$$\tau_\theta = -\rho(\overline{w'u'} + \overline{v'u'}) \quad \text{و} \quad \tau_r = -\rho(\overline{u'v'} + \overline{w'v'}) \quad (3)$$

در این روابط u', v', w' نوسانات مؤلفه‌های سرعت، $\overline{\rho u'v'}, \overline{\rho u'w'}, \overline{\rho v'w'}$ تنش‌های برشی رینولدزی در نزدیکی بستر و ρ چگالی سیال 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 (T_0) بی‌بعد گردید. محاسبات انجام شده براساس اندازه‌گیری میدان جریان، نشان می‌دهد لایه ۰/۵ 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 هم‌تنش در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود در نیمه پایین دست آبگیر مقادیر تنش برشی حداکثر است و در این نواحی احتمال وجود آبستنگی زیاد می‌باشد.



شکل ۱۳- خطوط هم‌تراز تنش برشی بستر.

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 به شدت 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.

نتیجه‌گیری

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 به علت 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 Wasserwirtschaft) No. S9 and 10.
9. Joglekar, D. 1959. Manual on River Behavior, Control and Training. Irrigation and Power, pp. 177-190.
10. 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 .
15. 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.

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 time-averaged 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