

مطالعه آزمایشگاهی پدیده انتقال رسوب و سازوکار ورود رسوبات به آبگیر جانبی در کانال قوسی ۱۸۰ درجه با استفاده از روش تزریق رسوب روی بستر صلب

حسین منتصری^{۱*}، مسعود قدسیان^۲، سید علی اکبر صالحی نیشابوری^۳

۱. استادیار گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه یاسوج
۲. استاد دانشکده عمران و محیط زیست و پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس
۳. استاد دانشکده عمران و محیط زیست و پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

hmontaseri@yu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۵/۰۸/۱۳]

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۲/۰۵]

چکیده

در این مقاله با استفاده از تزریق رسوب روی بستر صلب، به بررسی چگونگی شکل‌گیری توپوگرافی بستر و سازوکار ورود رسوبات به آبگیر در یک کانال قوسی U شکل پرداخته شد. بدین منظور یک دستگاه تزریق رسوب با نرخ یکنواخت و قابل تنظیم، طراحی و ساخته شد. بر اساس توصیه‌های پژوهشگران پیشین، آبگیر جانبی در موقعیت ۱۱۵ درجه از این قوس و با زاویه انحراف ۴۵ درجه نسبت به جریان نصب شد. دستگاه تزریق رسوب در بالادست قوس مستقر شد و نرخ رسوب تزریق شده برابر با ظرفیت انتقال رسوب جریان در مسیر مستقیم بالادست قوس در نظر گرفته شد تا هیچگونه رسوبگذاری در بالادست قوس انجام نشود. برای تحلیل نتایج، میدان جریان حول آبگیر جانبی در قوس با استفاده از سرعت سنج سه بعدی ADV در حالت بستر صلب برداشت شد.

در این پژوهش اثر عدد فرود و دبی آبگیری بر پدیده انتقال رسوب در قوس و سازوکار ورود رسوبات به آبگیر بررسی شد. نتایج نشان داد به ازای اعداد فرود و دبی‌های آبگیری مختلف همواره پس از زمان تعادل یک پشته رسوبی در جداره داخلی نیمه اول قوس و یک پشته رسوبی دیگر در جداره داخلی نیمه دوم قوس و پایین دست آبگیر بوجود می‌آید اما با کاهش عدد فرود توسعه عرضی فرم‌های بستر بیشتر شده و ابعاد آنها نیز افزایش می‌یابد. همچنین نتایج حاکی از آن است که سازوکار ورود رسوبات به آبگیر به شدت تحت تاثیر دبی آبگیری قرار دارد. برای دبی آبگیری $Qr=40\%$ و عدد فرود $Fr=0.38$ سازوکار ورود رسوبات به آبگیر شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست آبگیر و ورود تناوبی رسوبات از وسط آبگیر است اما سازوکار ورود رسوبات برای دبی آبگیری ۲۵٪ و عدد فرود $Fr=0.38$ فقط شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست آبگیر است. کاهش عدد فرود موجب توسعه عرضی رسوبات و رسیدن دیون‌های تناوبی به دیواره خارجی قوس و ورود رسوبات از لبه بالادست آبگیر است. بررسی سازوکار ورود رسوبات به آبگیر نشان می‌دهد که رسوبات منحرف شده به سمت آبگیر، ابتدا به سمت لبه پایین دست آبگیر منحرف شده و از این ناحیه وارد آبگیر می‌شوند.

کلمات کلیدی: انتقال رسوب، قوس ۱۸۰ درجه، آبگیر جانبی، تزریق رسوب

۱- مقدمه

سازوکار جریان در آبراهه‌های قوسی پیچیده‌تر از آبراهه‌های مستقیم است. از مشخصه‌های ویژه آبراهه‌های قوسی می‌توان به وجود جریان حلزونی در آنها اشاره نمود که از اندرکنش جریان ثانویه در مقطع عرضی و جریان طولی آبراهه حاصل می‌شود. جریان ثانویه نیز بر اثر گرادیان فشار عرضی ناشی از تفاوت مقدار نیروی جانب مرکز اعمال شده به لایه‌های بالایی و پایینی جریان بوجود می‌آید. جریان حلزونی نقش به‌سزایی در شکل‌گیری پروفیل عرضی و تنش برشی در کف آبراهه دارد. در اثر وجود جریان حلزونی، حرکت عرضی رسوبات در کف آبراهه مشاهده می‌شود. این حرکت به شکلی است که بخشی از رسوبات را از ساحل خارجی به ساحل داخلی هدایت می‌کند. با توجه به اینکه یکی از اهداف مهم در طراحی آبراهه‌های جانبی، انتخاب محلی است که رسوبات کمتری وارد آبراهه شود، بنابراین ساحل خارجی رودخانه‌ها می‌تواند به عنوان مکان مناسبی برای احداث آبراهه‌های جانبی محسوب شود. اندرکنش جریان حلزونی قوس و الگوی سه بعدی جریان در آبراهه‌های واقع در قوس خارجی رودخانه بر پیچیدگی سازوکارهای جریان و رسوب در محل دهانه آبراهه می‌افزاید.

مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی بسیاری روی جریان و رسوب در آبراهه‌های قوسی انجام گرفته است. انگلند (۱۹۷۴) [1]، کیکاوا و همکاران (۱۹۷۶) [2] و فالکن و کندی (۱۹۸۳) [3] شرح دقیقی از جریان و شکل تغییرات بستر در رودخانه‌های قوسی با جریان دائم ارائه کردند. آلن (۱۹۷۰) به بررسی اثر غیریکنواختی مصالح بر پشته رسوبی با توجه به نیروهای وارد بر ذرات رسوب واقع بر بستر پرداخت [4]. کخ و فلوکسترا (۱۹۸۱) نیز با انجام آزمایش‌هایی روی کانال قوسی ۱۸۰ درجه با رسوبات دارای دانه‌بندی یکنواخت، به بررسی تغییرات بستر پرداختند [5]. ادگارد (۱۹۸۲) با توجه به مفهوم تنش برشی بحرانی و تعادل نیروها، بین مؤلفه عرضی تنش برشی و مؤلفه عرضی وزن، توزیع اندازه دانه‌ها در عرض کانال قوسی را تعیین نمود [6]. ادگارد و برگس (۱۹۸۸) با انجام آزمایش‌هایی روی کانال قوسی ۱۸۰ درجه با مقطع دوزنقه‌ای شکل به بررسی تغییرات بستر و اندرکنش آن با میدان سرعت پرداختند و علت

نوسانی بودن بستر واقع نیمه دوم قوس را ناشی از الگوی نوسانی بردار عرضی سرعت در امتداد طولی کانال معرفی نمودند [7]. صالحی نیشابوری و اقبالزاده (۱۳۸۱) نیز با انجام آزمایش‌هایی روی کانالی با قوس ۱۸۰ درجه به بررسی تغییرات بستر پرداختند [8]. بررسی منابع موجود نشان می‌دهد مطالعات کمتری روی الگوی جریان و توپوگرافی بستر در قوس رودخانه‌ها با وجود آبراهه‌های جانبی انجام پذیرفته است. ایزدپناه و صالحی نیشابوری (۱۳۷۵) برای تعیین زاویه انحراف مناسب آبراهه در قوس ۹۰ درجه از روش تزریق رسوب روی بستر صلب استفاده نمودند [9]. شفافی بجستان و نظری (۱۳۷۸) به مطالعه اثر زاویه آبراهه بر میزان رسوب ورودی به آبراهه‌های جانبی پرداختند [10]. همچنین پیرستانی (۱۳۸۳) با انجام مطالعات آزمایشگاهی در یک قوس ۱۸۰ درجه به بررسی اثر موقعیت و زاویه آبراهه بر الگوی جریان ورودی به آبراهه پرداخت [14]. دهقانی و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی اثر موقعیت و زاویه انحراف آبراهه‌های جانبی بر توپوگرافی بستر در قوس ۱۸۰ درجه پرداخت [15]. ابولقاسمی (۱۳۸۵) در یک کانال مئاندری به بررسی توپوگرافی بستر با حضور آبراهه‌های جانبی پرداخت [16]. در این پژوهش با استفاده از روش تزریق رسوب روی بستر صلب، به مطالعه توپوگرافی بستر و چگونگی شکل‌گیری آن در یک کانال قوسی ۱۸۰ درجه با آبراهه‌های جانبی، همچنین سازوکار ورود رسوبات به آبراهه‌ها به ازای اعداد فرود مختلف پرداخته شده است. نرخ رسوب تزریق شده برابر با ظرفیت انتقال رسوب جریان در مسیر مستقیم بالادست قوس در نظر گرفته شد. برای تحلیل نتایج، میدان جریان حول آبراهه‌های جانبی در قوس با استفاده از سرعت سنج سه بعدی ADV در حالت بستر صلب برداشت شد.

۲- طراحی دستگاه تزریق رسوب

دستگاه تزریق رسوبی که در این پژوهش طراحی و ساخته شد، دارای مخزنی به حجم تقریبی ۲۰۰ کیلوگرم بوده که روی ارابه‌ای متحرک قرار دارد. درون دستگاه شفتی قرار دارد که روی آن ۲ شیار با مقطع مستطیلی تعبیه شده است و توسط موتور گیربکسی که دور آن قابل تنظیم است، می‌چرخد. رسوبات درون شیار شفت جای گرفته و با چرخش شفت درون

کانال مستقیم به طول ۷/۲ متر و در پایین دست قوس کانال مستقیمی به طول ۵/۲ متر وجود دارد. جداره‌های کانال از جنس پلکسی گلاس و کف کانال از جنس شیشه است. در موقعیت ۱۱۵ درجه از قوس، کانال آبگیر با زاویه ۴۵ درجه نسبت به امتداد جریان در کانال اصلی نصب شد. عرض و طول کانال آبگیر به ترتیب ۲۵ سانتی‌متر و ۲/۵ متر است (شکل ۲). لازم به ذکر است که موقعیت و زاویه انحراف آبگیر، بر اساس توصیه دهقانی (۱۳۸۵) انتخاب شده است.

دبی جریان در کانال توسط یک فلومتر آلتراسونیک که روی لوله ورودی آب به مخزن نصب شده است، اندازه‌گیری شده و با سرریزهای مثلثی استاندارد که در انتهای مخازن کانال اصلی و کانال آبگیر وجود دارد، کنترل شد. جریان آب از مخازن زیرزمینی موجود در کف آزمایشگاه به مخزن ورودی کانال پمپ شده و سپس به درون کانال هدایت می‌شود. عمق جریان در ورودی کانال اصلی نیز با استفاده از دریچه پروانه‌ای واقع در انتهای کانال اصلی تنظیم و با استفاده از یک عمق سنج دیجیتال که دارای دقت ۰.۰۱ mm است، اندازه‌گیری شد. دبی انحرافی کانال آبگیر نیز با استفاده از سرریز مثلثی که در انتهای حوضچه تخلیه آبگیر جانبی قرار دارد، تعیین می‌شود.

در ابتدای آزمایش‌ها برای تنظیم شرایط جریان، دریچه انتهایی آبگیر را بسته سپس شیر پمپ به تدریج باز شده تا دبی جریان به دبی مورد نظر برسد. سپس با تنظیم هم‌زمان دریچه‌های انتهایی کانال اصلی و انتهایی آبگیر جانبی، عمق جریان ورودی و مقدار دبی آبگیری تنظیم شد. دبی جریان در این آزمایش‌ها ۳۸/۳ لیتر بر ثانیه می‌باشد. آزمایش‌های انجام گرفته برای سه عدد فرود ۰.۳۸، ۰.۳۵ و ۰.۳۲ و دو دبی انحرافی ۲۵٪ و ۴۰٪ انجام شد.

محل تزریق رسوبات بالاتر از شروع قوس که شرایط جریان یکنواخت برقرار بود، انتخاب شد. شرایط هیدرولیکی آزمایش‌ها به گونه‌ای بود که رسوبات به صورت بار بستر حرکت کنند و پس از تزریق درون جریان معلق نشوند. نرخ دستگاه تزریق رسوب برابر بیشینه قدرت حمل جریان انتخاب شد تا رسوبگذاری در مسیر بالادست قوس انجام نشود و فقط رسوبگذاری در قوس و تحت اثر جریان حلزونی قوس و

کانال می‌ریزد. عرض خروجی دستگاه برابر با عرض کانال آزمایشگاهی است. شکل (۱) نمایی از این دستگاه را نشان می‌دهد. رسوبات مورد استفاده از جنس ماسه به قطر متوسط $d_{50}=1.28\text{mm}$ و دانه بندی یکنواخت (ضریب یکنواختی $\sigma_g = \sqrt{d_{84}/d_{16}} = 1.3$) است.

شکل ۱. نمای دستگاه تزریق رسوب طراحی شده

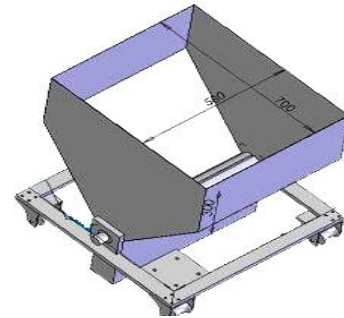


Fig. 1. Schematic of designed sand feeder

شکل ۲. نمایی از کانال آزمایشگاهی همراه با آبگیر جانبی (ابعاد به متر است)

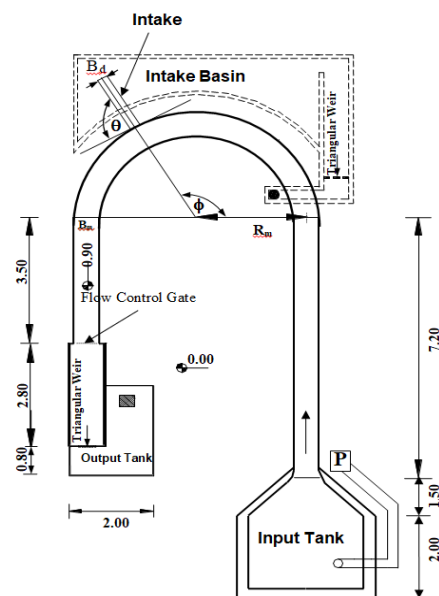


Fig. 2. Schematic of experimental channel

۳- آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس در یک کانال با قوس مرکزی ۱۸۰ درجه و شعاع متوسط ۲/۶ متر و با عرض ۰/۶ متر انجام گرفته است. شکل (۲) نمایی از کانال آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. در قسمت بالادست قوس یک

منحرف شده به پایین دست آبرگیر اندازه گیری، و درصد رسوب منحرف شده به سمت آبرگیر از رابطه زیر محاسبه شد.

$$Gr = M_2 / (M_1 + M_2) \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه:

Gr: درصد وزنی رسوب منحرف شده به آبرگیر

M1: وزن رسوبات انتقال یافته به پایین دست آبرگیر (وزن رسوبات موجود در ناحیه ۱ در شکل ۳)

M2: وزن رسوبات منحرف شده به درون آبرگیر (وزن رسوبات موجود در ناحیه ۲ در شکل ۳) و تله اندازی شده در خروجی آبرگیر

شکل ۳. ناحیه ۱ و ۲ در تعیین درصد رسوب انحرافی

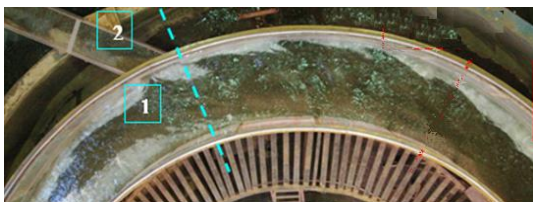


Fig. 3. Region 1 and 2 for determination diverted sediment rate into the intake

تغییرات زمانی درصد رسوب انحرافی به آبرگیر در شکل (۴) ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که تغییرات درصد رسوب انحرافی دارای یک منحنی نزولی است که از زمان حدود ۱ ساعت تقریباً ثابت می‌شود.

شکل ۴. تغییرات زمانی نرخ رسوب انحرافی به درون آبرگیر

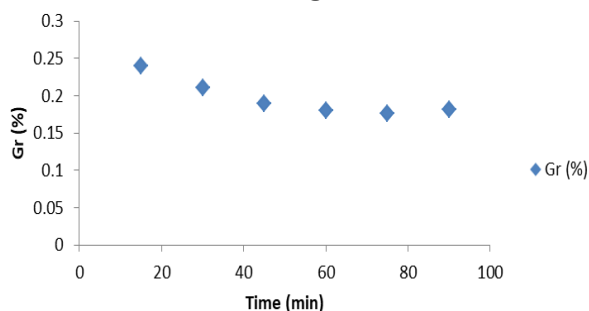


Fig. 4. Time Variation of diverted sediment rate into the intake

۵- مشاهدات آزمایشگاهی

در این بخش چگونگی شکل‌گیری فرم‌های بستر و سازوکار ورود رسوبات به آبرگیر تحت شرایط مختلف هیدرولیکی بررسی شده قبل از انجام آزمایش‌ها برای

اندرکنش آن با آبرگیر صورت گیرد. بیشینه قدرت حمل جریان بسته به مقدار عدد فرود متفاوت است بطوری که با کاهش عدد فرود، قدرت حمل جریان نیز کاهش می‌یابد. نرخ تزریق رسوب برای کمترین عدد فرود و در حالت بستر زبر برابر 250 gr/min بدست آمد. لازم به ذکر است که این عدد بر اساس مشاهده و با روش صحیح و خطا بدست آمد، بدین صورت که قبل از روشن کردن دستگاه تزریق رسوب، دور موتور آن روی کمترین مقدار ممکن قرار داده شد. سپس دستگاه تزریق رسوب روشن شد و با افزایش تدریجی دور موتور، بیشترین نرخ تزریقی که جریان قادر به حمل آن باشد، انتخاب شد. پس از تنظیم شرایط جریان و برقراری جریان دائمی، تزریق رسوبات توسط دستگاه تزریق رسوب به صورت پیوسته از بالادست قوس آغاز شد. پس از رسیدن به زمان تعادل آزمایش، ابتدا پمپ خاموش شده و دریچه انتهایی آبرگیر به آهستگی بسته شد تا فرم‌های بستر تشکیل شده در کانال دچار تغییر نشوند. سپس دستگاه تزریق رسوب خاموش شد. بعد از آن اجازه داده شد تا آب موجود در کانال زهکشی شود. سپس مقدار رسوبات انتقال یافته به پایین دست آبرگیر و رسوبات انتقال یافته به درون آبرگیر و همچنین رسوبات تله اندازی شده در خروجی آبرگیر جمع آوری شده و توزین شد. در نهایت کلیه رسوبات تزریق شده جمع آوری و خشک، و به منظور شناسایی الگوی جریان و تحلیل نتایج، میدان سه بعدی جریان در قوس و حول آبرگیر جانبی با استفاده از یک سرعت سنج سه بعدی ADV^۱ اندازه‌گیری شد. به منظور زبر کردن بستر یک لایه رسوب با دانه‌بندی مشابه رسوبات استفاده شده برای تزریق روی کف شیشه‌ای کانال چسبانیده شد.

۴- تعیین زمان تعادل در آزمایش‌ها

در این پژوهش شرایط تعادل زمانی تعیین شده است که نرخ رسوب انحرافی به درون آبرگیر ثابت شود. بدین منظور آزمایش‌هایی با زمان‌های مختلف برای بیشینه دبی آبرگیری (۴۰ درصد) و عدد فرود ۰/۳۲، انجام گرفت. برای تعیین نرخ رسوب منحرف شده به آبرگیر، در هر آزمایش، میزان وزنی رسوب منحرف شده به درون آبرگیر و میزان وزنی رسوب

تخلیه می نمایند.

تشخیص حرکت رسوبات سطح کانال با استفاده از رنگ اسپری سفید رنگ آمیزی شد.

شکل ۶- سازوکار ورود رسوبات به آبگیر در حالت $Qr=40\%-Fr=0.38$



الف . انحراف رسوبات به سمت پایین دست آبگیر

a) Sediment diversion to the downstream of intake



ب- آغاز ورود رسوبات از لبه پایین دست آبگیر

b) Start of sediment entered to the intake



ج- ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست و ورود تناوبی دیون ها از

لبه بالادست آبگیر

c) Continues sediment entered from downstream edge and alternative entered from upstream edge



د- عبور دیون از جلوی آبگیر و انتقال زبانه رسوبی به وسط آبگیر

d) Passing of dune in front of intake and transition of dune to the middle of intake



ح- شکل گیری تناوبی دیونها از مقطع ۷۰ درجه قوس

e) Alternative forming of dune from section 70 degree

Fig. 6 mechanism of sediment entered to the lateral intake

$Fr=0.38-Qr=40\%$

در زمان عبور دیون های تناوبی از جلوی آبگیر، به علت پیوستن این دیون به زبانه رسوبی در گوشه پایین دست آبگیر، محل زبانه رسوبی قدری به وسط آبگیر منتقل می شود. سازوکار

۱-۵ اثر دبی آبگیری

بدین منظور در عدد فرود $Fr=0.38$ ، آزمایش ها برای دو

دبی آبگیری ۲۵٪ و ۴۰٪ انجام گرفت.

الف- دبی آبگیری $Qr=40\%$

رسوبات وارد شده به قوس، در اثر جریان ثانویه موجود

در قوس، به سمت قوس داخل منحرف می شوند و دیونی را

تشکیل می دهند که در امتداد قوس داخل به جلو حرکت

می نماید. با ادامه تزریق رسوب دیون های متناوبی از مقطع

حدود ۱۰ درجه قوس شروع به شکل گیری می کنند که بر اثر

جریان حلزونی قوس به سمت قوس داخلی منحرف شده و از

دیون شکل گرفته در امتداد قوس داخلی سبقت می گیرند و در

امتداد قوس داخلی به سمت پایین دست حرکت می کند (شکل

۵).

شکل ۵. حرکت رسوبات در ورودی قوس $Qr=40\%-Fr=0.38$

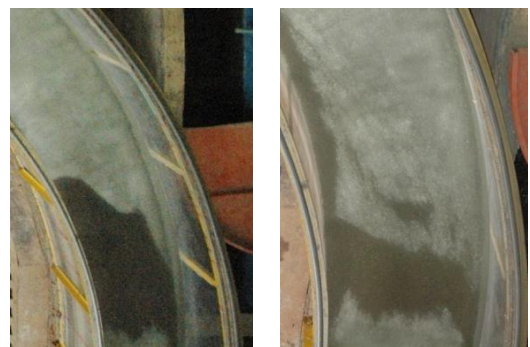


Fig. 5. Sediment movement in the bend, $Fr=0.38-$

$Qr=40\%$

دیون شکل گرفته در قوس داخلی تا مقطع حدود ۴۵

درجه پیشروی می نماید و در این محل یک پشته رسوبی را

تشکیل می دهد. از مقطع ۴۵ درجه به بعد بر اثر مکش آبگیر،

رسوبات به سمت لبه پایین دست آبگیر کشیده می شوند و در

نهایت ورود رسوبات از لبه پایین دست آبگیر آغاز می شود. پس

از آن دیون های متناوب، یکی پس از دیگری خود را به

بالادست آبگیر رسانیده و بار رسوبی خود را به درون آبگیر

دیون‌های تناوبی شکل گرفته در این حالت، به علت مکش

کم آبگیر به سمت لبه پایین دست آبگیر منحرف شده و از این نقطه وارد آبگیر می‌شوند. سازوکار ورود رسوبات برای دبی آبگیری ۲۵٪ و عدد فرود $Fr=0.38$ فقط شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست آبگیر است (شکل ۷).

۵-۲- اثر عدد فرود

در این قسمت اثر عدد فرود در دبی آبگیری $Qr=40\%$ بر سازوکار ورود رسوبات به آبگیر بررسی می‌شود.

الف) عدد فرود $Fr=0.35$

با کاهش عدد فرود نسبت به حالت قبل ($Fr=0.38$)، به علت کاهش سرعت جریان، توسعه عرضی فرم‌های بستر افزایش یافته و دیون‌های متناوب خود را به قوس خارجی نزدیک تر می‌نمایند و از لبه بالادست آبگیر وارد آبگیر می‌شوند، ضمن اینکه ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست آبگیر، قبل از آن شروع شده است (شکل ۸).

شکل ۸. سازوکار ورود رسوبات به آبگیر - $Qr=40\%$ و $Fr=0.35$



Fig. 8. Mechanism of sediment entered to the lateral intake $Qr=40\%$ و $Fr=0.35$

ب) عدد فرود $Fr=0.32$

کاهش بیشتر عدد فرود تا $Fr=0.32$ در نهایت موجب می‌شود تا فرم‌های بستر باز هم توسعه عرضی بیشتری داشته باشند و پس از آغاز ورود رسوبات از لبه پایین دست آبگیر، دیون‌های متناوب، خود را به قوس خارجی رسانده و از لبه بالادست آبگیر یکی پس از دیگری وارد آبگیر شوند. سازوکار ورود رسوبات به آبگیر در این حالت شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست آبگیر و ورود تناوبی رسوبات از لبه بالادست آبگیر در امتداد قوس خارجی است. سازوکار ورود

ورود رسوبات به آبگیر در این حالت شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست و ورود تناوبی رسوبات از وسط آبگیر است (شکل ۶).

ب) دبی آبگیری $Qr=25\%$

آزمایش‌های تزریق رسوب نشان داد که کاهش دبی آبگیری روی چگونگی شکل‌گیری فرم‌های بستر در قوس تأثیری ندارد، اما موجب انتقال سریعتر رسوبات به پایین دست آبگیر می‌شود. همچنین کاهش دبی آبگیری باعث کاهش ورود رسوبات از لبه پایین دست آبگیر می‌شود.

شکل ۷. سازوکار ورود رسوبات به آبگیر در حالت $Qr=25\%$ - $Fr=0.38$



الف. انحراف بیشتر رسوبات به سمت پایین دست آبگیر

Sediment diversion to the downstream of intake



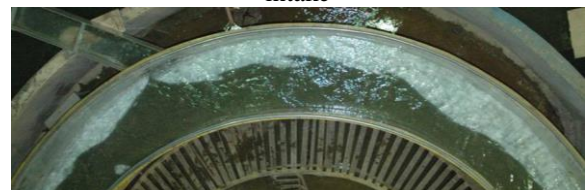
لبه پایین دست آبگیر ب- ورود رسوبات از

b) Sediment entered to the intake from downstream edge



ج- انحراف دیون‌های تناوبی به سمت لبه پایین دست آبگیر

c) Diversion of alternative dunes to downstream edge of intake



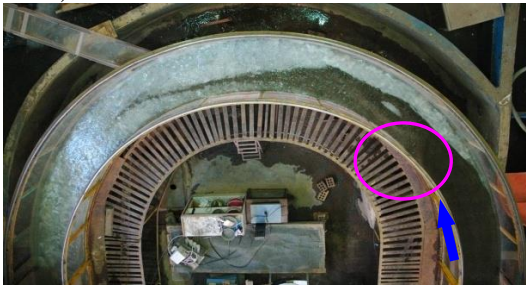
د- ورود رسوبات از ناحیه لبه پایین دست آبگیر

d) Sediment entered from downstream edge of intake

Fig. 7. Mechanism of sediment entered to the lateral intake $Fr=0.38$, $Qr=25\%$

ب. انحراف رسوبات به سمت قوس داخلی و تمرکز آنها در مقطع ۴۵ درجه و ادامه رشد زبانه رسوبی

a) Sediment diversion to the inner bend



ج. شکل گیری پشته رسوبی در قوس داخلی مقطع ۴۵ درجه و انحراف زبانه رسوبی به سمت لبه پایین دست آبگیر

b) Sediment accumulation at section 45°



د- تشکیل دیون‌های تناوبی از مقطع ۷۰ در قوس خارجی

c) Formation of alternative dunes from section 70°



ه. آغاز ورود رسوبات از لبه پایین دست آبگیر و ادامه رشد فرم های بستر در بالادست آبگیر

Start of sediment entered from downstream edge of intake



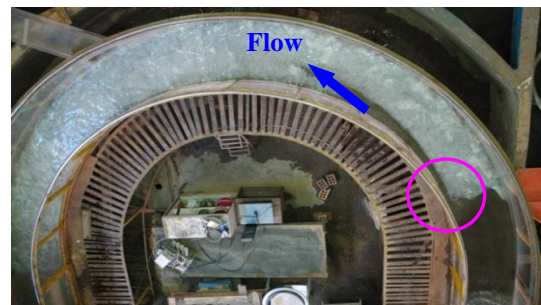
د) ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست آبگیر و ورود تناوبی رسوبات از لبه بالادست آبگیر

رسوبات به آبگیر برای عدد فرود $Fr=0.32$ و $Qr=40\%$ در شکل (۹) ارائه شده است.

در این حالت نیز با ورود رسوبات به قوس، دیونی در قوس داخلی شکل می‌گیرد که به آهستگی در امتداد قوس داخلی پیش می‌رود و در مقطع ۴۵ درجه یک پشته رسوبی را تشکیل می‌دهد. مشاهدات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که محل شکل‌گیری دیون‌های تناوبی از حدود مقطع ۱۰ درجه در نزدیکی قوس خارجی است. اما این دیون‌های تناوبی از مقطع ۷۰ درجه قوس خود را به قوس خارجی می‌رسانند و در امتداد قوس خارجی به سمت آبگیر حرکت می‌نمایند. مشاهدات همچنین نشان می‌دهد که بعد از گوشه پایین دست آبگیر در قوس خارجی، هیچگونه رسوبگذاری اتفاق نمی‌افتد. همچنین مشاهده شد به علت مکش آبگیر، ناحیه‌ای در پایین دست آبگیر در قوس داخلی وجود دارد که تا اواسط آزمایش در آن رسوبگذاری نشده است و رسوبات منحرف شده به سمت پایین دست آبگیر از کنار این ناحیه عبور می‌نمایند.

شکل ۹. سازوکار ورود رسوبات به آبگیر، $Fr=0.32$ ، $Qr=40\%$

الف. شروع انحراف رسوبات به سمت قوس داخلی از مقطع ۱۰ درجه و رشد زبانه رسوبی به سمت آبگیر



Start of sediment diversion to inner bank from section 10°



ملاحظه می‌شود نوسانی بودن (تناوبی بودن) فرم بستر در قوس، خارجی قبل و بعد از آبگیر است که دلیل آن الگوی نوسانی بردار عرضی سرعت در امتداد قوس خارجی است (ادگارد و برگس، ۱۹۸۸). نواحی پشته رسوبی موجود در نیمه اول و نیمه دوم قوس در نتایج پژوهشگرانی چون اودگارد و برگس (۱۹۸۸) و دهقانی (۱۳۸۵) نیز مشاهده شده است.

شکل ۱۱ - خطوط تراز بستر و پشته های رسوبی, $Q_r=40\%$, $Fr=0.32$

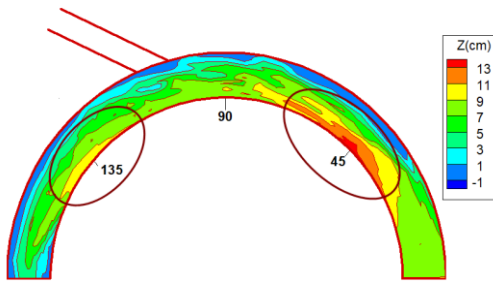


Fig.11. Bed contour lines and accumulations $Fr=0.32$, $Q_r=40\%$

۷- تحلیل نتایج

به منظور تحلیل نتایج حاصل از آزمایشات تزریق رسوب، از نتایج حاصل از آزمایشات برداشت میدان سه بعدی جریان استفاده شد. در شکل (۱۲) خطوط جریان در تراز نزدیک بستر برای دبی‌های آبگیری مختلف نشان داده شده است. برای دبی آبگیری ۴۰ درصد (شکل الف) ملاحظه می‌شود که خطوط جریان به سمت گوشه پایین دست آبگیر منحرف می‌شوند. بین این خطوط جریان، خطوط جریان برگشتی در گوشه پایین دست آبگیر، خط تقسیم جریان در کف و جریان منحرف شونده به سمت قوس داخلی در گوشه پایین دست آبگیر، یک ناحیه سکون یا نقطه زینی در لبه پایین دست آبگیر ایجاد می‌شود که عامل مهمی در به تله افتادن و تجمع رسوبات بستر در این ناحیه است. این ناحیه برای دبی آبگیری ۴۰ درصد در تراز نزدیک بستر مشاهده می‌شود، اما برای دبی آبگیری ۲۵٪، به علت مکش کم آبگیر، نقطه زینی تشکیل نشده است. رسوبات تحت تأثیر این الگوی جریان، به سمت لبه پایین دست آبگیر منحرف شده و از گوشه پایین دست آبگیر وارد آبگیر می‌شود. آشکار است که با کاهش دبی آبگیری، به علت کاهش عرض صفحه تقسیم جریان و تشکیل نشدن نقطه زینی در گوشه پایین دست آبگیر برای دبی آبگیری ۲۵٪، میزان رسوب انحرافی به آبگیر کاهش خواهد

- e) Continues sediment entered from downstream edge and alternative entered from upstream edge
Fig.9 Mechanism of sediment entered to the lateral intake
 $Q_r=40\%$, $Fr=0.32$

۶- بررسی توپوگرافی بستر در زمان تعادل

در ادامه مشاهدات آزمایشگاهی، دیده شد رسوباتی که پشته رسوبی تشکیل شده در مقطع ۴۵ درجه را دور زده‌اند، به دو بخش تقسیم شده بخشی بر اثر مکش آبگیر به سمت آبگیر حرکت می‌کنند و بخشی در اثر جریان حلزونی قوس به سمت قوس داخلی حرکت می‌نمایند. این بخش از رسوبات، دیونی با ارتفاع کوچکتر در جلوی پشته رسوبی تشکیل می‌دهند که در امتداد قوس داخلی به سمت پایین دست حرکت می‌نمایند و ناحیه جدایی جریان پایین دست آبگیر در قوس داخلی را پر می‌کنند و در مقطع ۱۳۵ درجه قوس پشته رسوبی دیگری را تشکیل می‌دهند و پس از آن رسوبات در امتداد قوس داخلی به سمت انتهای قوس حرکت می‌نمایند.

برای حالت دبی آبگیری $Q_r=40\%$ و عدد فرود $Fr=0.32$ ، که فرم های بستر بیشترین توسعه عرضی را دارند، توپوگرافی بستر در زمان تعادل در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

شکل ۱۰ - توپوگرافی بستر $Fr=0.32$ و $Q_r=40\%$

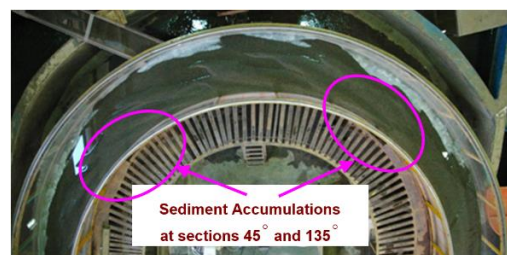


Fig.10. Bed topography $Fr=0.32$, $Q_r=40\%$

به منظور بررسی دقیق تر ابعاد فرم‌های بستر و موقعیت آنها، توپوگرافی بستر پس از زمان تعادل، برداشت شد (شکل ۱۱). همان‌گونه که در این شکل ملاحظه می‌شود، یک پشته رسوبی در مقطع ۴۵ درجه و پشته رسوبی دیگری در مقطع ۱۳۵ درجه قوس تشکیل می‌شود که دلیل آن انحنا خطوط جریان به سمت قوس داخلی پس از آبگیر است. ارتفاع پشته رسوبی دوم نسبت به پشته رسوبی اول کمتر است که دلیل آن کاهش میزان جریان بعد از آبگیر به علت انحراف بخشی از جریان توسط آبگیر می‌باشد. نکته دیگری نیز که در توپوگرافی بستر

سانتی متری، جهت خطوط جریان به سمت قوس خارجی است که نشان از وجود یک جریان حلزونی هم جهت با جریان حلزونی قوس بعد از گوشه پایین دست آبگیر دارد. این جریان حلزونی موجب می شود تا رسوبات در این ناحیه ته نشین نشده و به سمت پایین دست منحرف شوند. تغییرات مولفه عرضی سرعت در امتداد قوس خارجی (در فاصله ۵ سانتی متری از دیواره) و در تراز ۲ سانتی متری از کف در شکل (۱۴) نشان داده شده است.

شکل ۱۴. تغییرات سرعت عرضی در امتداد قوس خارجی در مقاطع مختلف

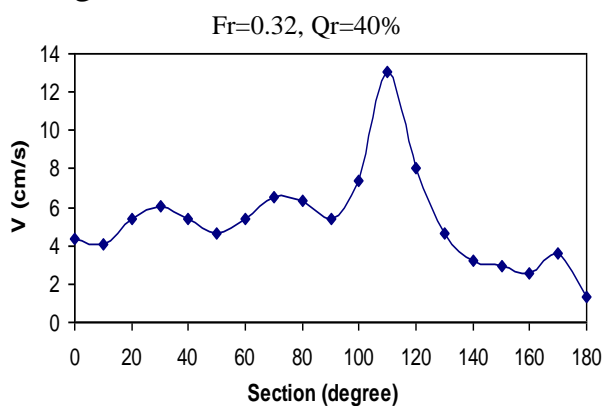


Fig. 14. Variation of lateral velocity along the outer bend

ملاحظه می شود که مقادیر سرعت عرضی از ابتدای قوس تا لبه آبگیر حالت نوسانی دارد و با رسیدن به آبگیر به شدت افزایش و بعد از آبگیر کاهش می یابند. ضمن اینکه حالت نوسانی خود را حفظ می نمایند، ولی شدت نوسان کمتر شده است. پژوهشگرانی چون ادگارد و برگس (۱۹۸۸) علت نوسانی بودن توپوگرافی بستر در امتداد قوس خارجی را نوسانی بودن مؤلفه سرعت عرضی در امتداد قوس خارجی دانسته اند. همان گونه که مشاهده شد محل شروع تشکیل دیون های تناوبی از مقطع ۱۰ درجه قوس است و در مقاطع بعد از آبگیر نیز حالت تناوبی خود را حفظ می نمایند. علت نوسانی بودن مؤلفه عرضی سرعت، عدم تعادل موضعی بین نیروی گریز از مرکز در قوس و گرادیان فشار جانبی که بر اثر تغییر تراز سطح آب در قوس داخلی و خارجی اتفاق می افتد، است.

در شکل (۱۵) خطوط جریان در مقاطع عرضی برای دبی آبگیری ۴۰ درصد نشان داده شده است. جریان با ورود به

یافت. همچنین مشاهده الگوی جریان در تراز نزدیک بستر برای دبی آبگیری ۲۵ و ۴۰ درصد نشان از تمرکز خطوط جریان در نیمه اول، در مقطع ۴۵ درجه قوس داخلی دارد. علاوه بر این جریان منحرف شده در گوشه پایین دست آبگیر به سمت مقطع ۱۳۵ درجه متمایل است. این دو مقطع، محل تشکیل پشته های رسوبی هستند.

شکل ۱۲. الگوی جریان در تراز نزدیک بستر (5mm) در کانال اصلی

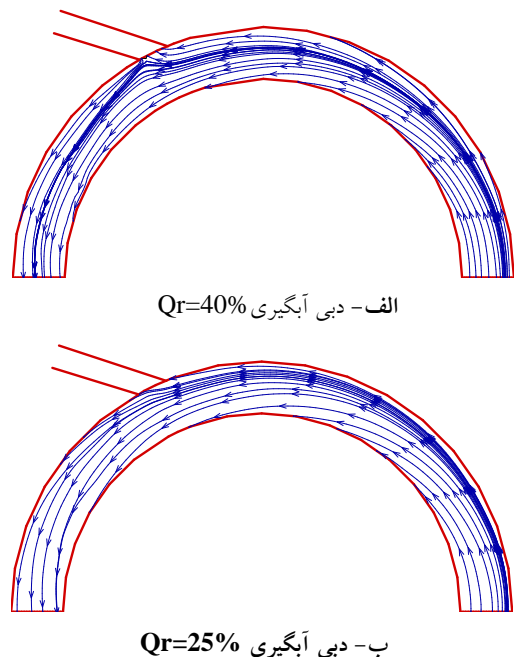
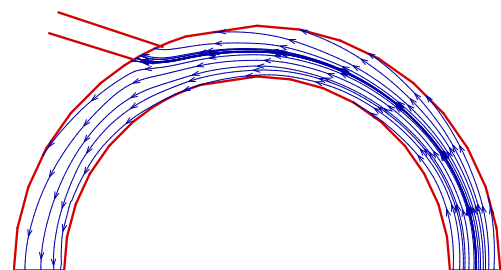


Fig. 12. Flow field at level near bed a) $Q_r=40\%$ b) $Q_r=25\%$

شکل ۱۳. الگوی جریان در تراز ۲ سانتی متری از کف برای دبی آبگیری ۴۰ درصد را نشان می دهد.



شکل ۱۳. الگوی جریان در تراز 2cm از کف
Fig. 13. Flow field at 2cm level $Q_r=40\%$, $Fr=0.32$

در شکل (۱۳-الف) یعنی الگوی جریان در تراز ۵ میلی متری، مشاهده می شود خطوط جریان بعد از گوشه پایین دست آبگیر به سمت قوس داخلی منحرف شده اند، اما در تراز ۲

تحت مکش شدید آبگیر قرار می‌گیرد و جریان ثانویه شروع به زوال می‌نماید و در مقطع ۱۱۵ درجه (وسط آبگیر) به دلیل مکش آبگیر و ایجاد مومنتوم جانبی قوی، جریان ثانویه بطور کامل از بین می‌رود. در مقاطع بعد از آبگیر، جریان ثانویه گوشه پایین دست آبگیر شکل می‌گیرد، ضمن اینکه یک سلول چرخشی در قسمت فوقانی قوس داخلی تشکیل می‌شود که ناشی از ناحیه جدایی جریان در پایین دست آبگیر است (مقطع ۱۳۰ و ۱۴۰ درجه). از این مقاطع به بعد و با رسیدن به انتهای قوس، جریان ثانویه شروع به زوال می‌نماید. اما برای دبی آبگیری ۲۵ درصد، با توجه به کم بودن مکش آبگیر در محدوده آبگیر و حتی در وسط آبگیر جریان ثانویه اصلی قوس از بین نمی‌رود، بلکه مقداری به سمت آبگیر کشیده می‌شود.

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 بوجود می‌آید (مقطع ۱۰ درجه). در مقطع ۲۰ درجه جریان ثانویه کامل تر و در مقطع ۴۰ درجه بطور کامل شکل می‌گیرد. هسته این جریان ثانویه در قوس داخلی قرار دارد، ضمن اینکه سلول چرخشی نیز که جهت آن خلاف جریان ثانویه اصلی است، بطور کامل تشکیل شده است. از مقطع ۴۵ درجه به بعد، جریان تحت تأثیر مکش آبگیر قرار می‌گیرد و هسته جریان ثانویه از قوس داخلی جدا می‌شود اما سلول چرخشی نزدیک جدار خارجی قوی‌تر می‌شود (مقطع ۶۰ درجه). برای دبی آبگیری ۴۰ درصد، از مقطع ۱۰۷ درجه جریان ثانویه قوس

شکل ۱۵. خطوط جریان در مقاطع عرضی مختلف- دبی آبگیری ۴۰ درصد

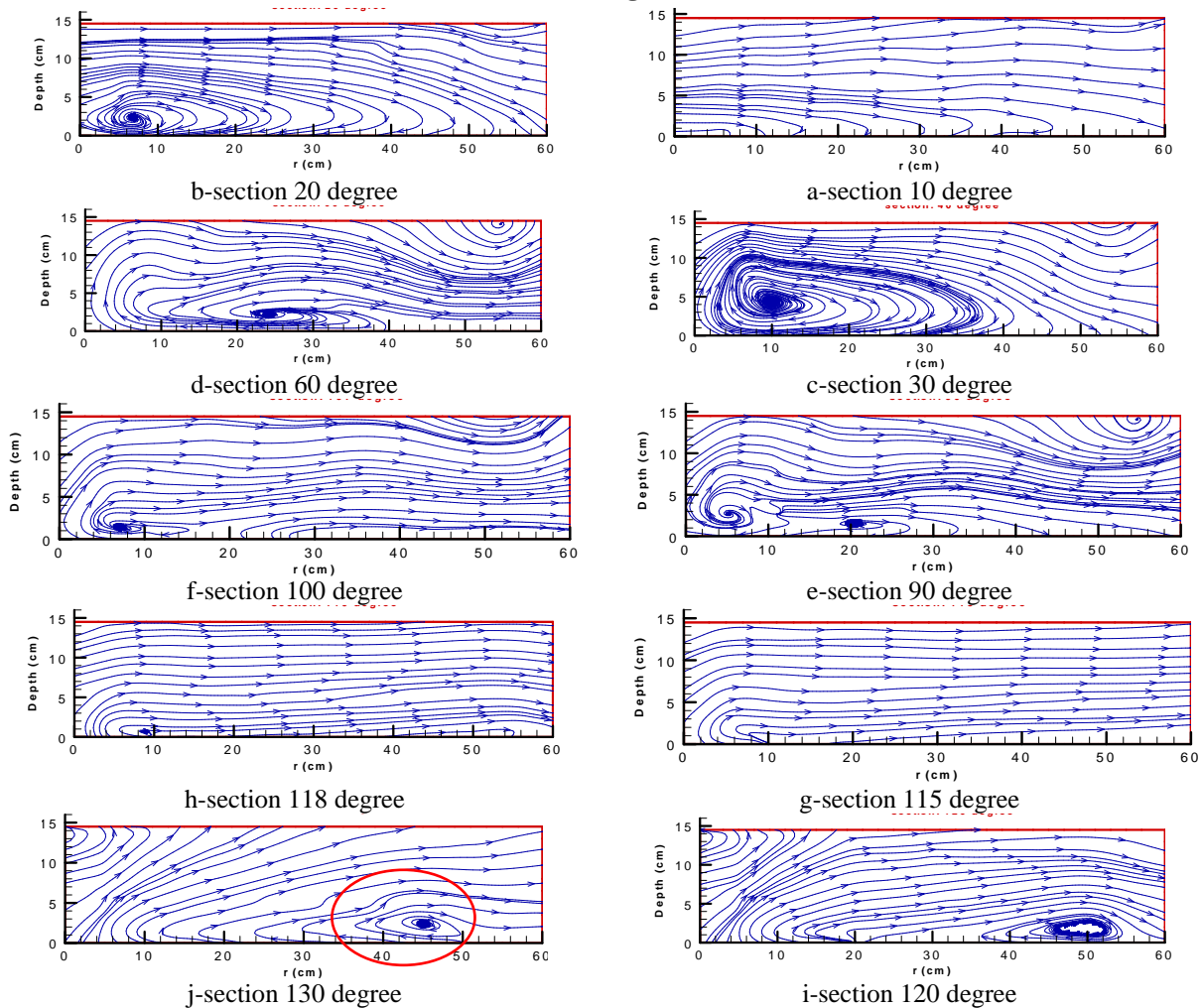


Fig. 15 flow streamline in lateral sections $Q_r=40\%$

۸- نتیجه گیری

در این پژوهش یک دستگاه تزریق رسوب با نرخ تزریق یکنواخت و قابل تنظیم طراحی شد و از آن برای بررسی پدیده انتقال رسوب و سازوکار ورود بار بستر به آبگیر در کانال قوسی استفاده شد. برای تحلیل نتایج مولفه سه بعدی سرعت در قوس توسط سرعت سنج سه بعدی ADV برداشت شد. بررسی چگونگی حرکت رسوبات نشان می‌دهد که رسوبات تا زاویه ۱۰ درجه از قوس به صورت یکنواخت در عرض کانال حرکت می‌کنند و از این زاویه به بعد، انحراف رسوبات به سمت قوس داخلی آغاز می‌شود. یک پشته رسوبی از زاویه ۳۰ درجه در قوس داخلی شکل می‌گیرد و تا زاویه ۴۵ درجه از قوس پیشروی می‌کند و در این موقعیت تثبیت می‌شود. این مقطع دارای بیشترین قدرت جریان ثانویه در نیمه اول قوس است. پس از تشکیل این پشته، رسوبات تزریق شده از بالادست این پشته رسوبی را دور زده و در امتداد قوس داخلی حرکت می‌کنند. با نزدیک شدن به آبگیر بر اثر مکش آبگیر رسوبات به سمت آبگیر متمایل می‌شوند و در لبه پایین دست آبگیر تجمع می‌نمایند و ورود رسوبات به درون آبگیر از همین نقطه آغاز می‌شود. پس از شکل‌گیری فرم‌های بستر در بالادست آبگیر، دیون‌هایی در قوس خارجی شکل می‌گیرد که به صورت تناوبی از لبه بالادست آبگیر وارد آبگیر می‌شوند. علت شکل‌گیری متناوب این دیون‌ها را می‌توان نوسانی بودن مولفه عرضی سرعت در نیمه اول قوس دانست. پس از زمان تعادل آزمایش‌ها، یک پشته رسوبی در نیمه اول قوس در مقطع ۴۵ درجه و یک پشته رسوبی دیگر در نیمه دوم قوس در مقطع ۱۳۵ درجه شکل می‌گیرد که ارتفاع پشته رسوبی دوم نسبت به پشته رسوبی اول کمتر است. این دو مقطع محل بیشینه قدرت جریان ثانویه در نیمه اول و دوم قوس هستند که قدرت جریان ثانویه در مقطع ۱۳۵ درجه از مقطع ۴۵ درجه کمتر است. آزمایشات تزریق رسوب نشان داد که کاهش دبی آبگیری روی چگونگی شکل‌گیری فرم‌های بستر در قوس تأثیری ندارد، اما موجب انتقال سریعتر رسوبات به پایین دست آبگیر می‌شود. همچنین کاهش دبی آبگیری باعث می‌شود دیون‌های تناوبی شکل گرفته، به علت مکش کم آبگیر به سمت لبه پایین دست

آبگیر منحرف شده و از این نقطه وارد آبگیر شوند. مشاهدات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که محل شکل‌گیری دیون‌های تناوبی از حدود مقطع ۱۰ درجه در نزدیکی قوس خارجی است. اما این دیون‌های تناوبی از مقطع ۷۰ درجه قوس خود را به قوس خارجی می‌رسانند و در امتداد قوس خارجی به سمت آبگیر حرکت می‌نمایند. همچنین نتایج حاکی از آن است که سازوکار ورود رسوبات به آبگیر به شدت تحت تأثیر دبی آبگیری قرار دارد. برای دبی آبگیری $Qr=40\%$ و عدد فرود $Fr=0.38$ سازوکار ورود رسوبات به آبگیر شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست آبگیر و ورود تناوبی رسوبات از وسط آبگیر است اما سازوکار ورود رسوبات برای دبی آبگیری 25% و عدد فرود $Fr=0.38$ فقط شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست آبگیر می‌باشد. با کاهش عدد فرود به علت کاهش سرعت جریان، توسعه عرضی فرم‌های بستر افزایش یافته و دیون‌های متناوب خود را به قوس خارجی نزدیک تر می‌نمایند و از لبه بالادست آبگیر وارد آبگیر می‌شوند. سازوکار ورود رسوبات به آبگیر در $Qr=40\%$ و عدد فرود $Fr=0.32$ شامل ورود پیوسته رسوبات از لبه پایین دست آبگیر و ورود تناوبی رسوبات از لبه بالادست آبگیر در امتداد قوس خارجی است.

References

۹- مراجع

- [1] Engelund, F. 1974 Flow and bed topography in channel bends. *Journal of Hydraulic Diversion*. 100 (11), 1631-1648.
- [2] Kikkawa, H., Ikeda, S., and Kitagawa, A. 1976 Flow and bed topography in curved open channel. *J. Hydraulic Div.*. 102 (9), 1327-1342.
- [3] Falcon, M. A. and Kennedy, J. F. 1983 Flow in alluvial river curves. *J. Fluid Mechanic*. 133, 1-16.
- [4] Allen, J.R.L. 1970 A quantitative model of grain size and sedimentary structures in lateral deposits. *Geological J.*, 7, 129-146.
- [5] Koch, F.G. and Flukstra, C. 1981 Bed level computations for curved alluvial channels. *Proc. XIXth congress of the Int. Assoc. for Hydraulic Research, New Delhi, India*, 2, 357.
- [6] Odgaard, A. J. 1982 Bed characteristics in alluvial channel bends. *J. Hydraulic Div.*, 108 (11), 1268-1281.
- [7] Odgaard, A. J. and Bergs, M. A. 1988 Flow processes in a curved alluvial channel. *Water Resour. Res.*, 24(1), 45-56.
- [8] Salehi Neyshabouri, S.A.A, Eghbalzadeh, A. 1997 Investigation of flow effect on bed topography in bend,

- [11] Dehghani, A.A., 2006 Experimental investigation of Sediments Control at lateral intake in a 180 degree channel bend. Ph.d. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (In Persian).
- [12] Pirestani, M.R., 2004 Investigation of Flow Field and Scouring at lateral intake in channel bends. PHD Thesis, Azad Islamic University, Tehran, Iran (In Persian).
- [13] Abolghasemi, M. 2006 Sediments Control at lateral intake in river meanders. PHD Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (In Persian).
- 6th International conference of river engineering, Shahid Chamran University, 567-574 (In Persian).
- [9] Salehi Neyshabouri, S.A.A, Izadpanah, A. 1997 Literature review on sediment transport at lateral intake, 4th International conference of river engineering, Shahid Chamran University, 574-567 (In Persian).
- [10] Shafae Bajestan, M., Nazari, S. 1990 Effect of diversion angle of lateral intake on sediment transport in a 90 degree channel bend, Agriculture journal, 47-66 (In Persian).

Experimental study of sediment transport and mechanism of sediment entry to a lateral intake in a 180 degree channel bend using sediment injection on rigid bed

Hossein Montaseri ^{*1}, Masoud Ghodsian ², Seyed Ali Akbar Salehi Neyshabouri³

1 Assistant Prof., Faculty of Engineering, Yasuj University, Yasuj, Iran

2 Prof., Faculty of civil and environmental Engineering, Water Engineering Research Center, Tarbiat Modares University

3 Prof., Faculty of civil and environmental Engineering, Water Engineering Research Center, Tarbiat Modares University

hmontaseri@gmail.com

Abstract

Sediment transport by a fluid flow is one of the most important two phase flows in the nature.

Predicting river behavior at bends is important since rivers rarely run on straight paths in nature, and most rivers have meandering forms. In a river bend the presence of centrifugal force leads to the formation of secondary flow. As a result water particles near the surface are driven outward and the flow at the bed of a channel is directed toward the inner bank. Therefore locating the intake at outer bank of bend is one of the ways to reduce sediment intern to the lateral intake.

Due to the existence of secondary current in channel bends, the mechanism of flow and sediment transport is much complex whereas locating lateral intake at outer bank of the bends decreases this complexity.

Lateral intakes are hydraulic structures, used for water conveyance for domestic, agricultural and industrial purposes, characterized by a very complex three-dimensional morphodynamic behavior: since streamlines near the lateral intake are deflected, some vortices are formed; also, the pressure gradient, shear and centrifugal forces at the intake generate the flow separation and a secondary movement responsible for local scour and sediment deposition.

Knowing the mechanisms of sediment transport in the channel bends with lateral intake and the manner in which sediments can enter the diversion can help engineers in the better design of these hydraulic structures.

In this paper, sediment transport phenomena and mechanisms of sediment entry to the lateral intake were carried out in a 180 degree channel bend using injection of sediment on rigid bed. In this order, a sediment injection device with uniform and adjustable rate were designed and made. The intake were installed in position 115 degree of bend with 45 degree diversion angle according to previous research suggestion. The sediment injection device were fixed at upstream of the bend and dried sediment with the rate of equal to the capacity of the channel upstream of the bend were injected.

In order to analyzing the results, three components of flow velocity were measured using 3D Acoustic Doppler Velocimeter (Vectrino). Moreover, the sediment movement path in different times and diverted sediment ratio to intake are measured.

In this research, effect of Froude Number and diversion discharge ratio on sediment transport in the bend and mechanism of sediment entry to the intake were considered. The results showed that in different Froud number and diversion discharge rate, after equilibrium time, a sediment accumulation occurred in section 45 degree of bend and another sediment accumulation occurred in section 135 degree of bend near inner bend. The reduction of Froud number caused development of bed forms and their heights. Also the results showed the mechanism of sediment entry to the lateral intake is affected by diversion discharge ratio. In $Q_r=40\%$ (and $Fr=0.38$), the mechanism of sediment entry were consisting of continues entrance from downstream edge of intake and periodic entrance from upstream of the intake but in $Q_r=25\%$ (and $Fr=0.38$), the mechanism of sediment entry were only consisting of continues entrance from downstream edge of intake.

Key Words: sediment transport, 180° channel bend, lateral intake, Sediment Injection.