

بررسی آزمایشگاهی پارامترهای مؤثر در طراحی جت هیدرولیکی غیرهمفاز در کاهش آبشستگی قوس ۹۰ درجه

پری ملکی^۱، جواد احدیان^{۲*}، سید محمود کاشفی پور^۳، منوچهر فتحی مقدم^۴

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

*j.ahadiyan@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۸/۱۰/۱۰]

تاریخ دریافت: [۹۷/۱۰/۱۸]

چکیده

سازه جت هیدرولیکی غیرهمفاز از جمله سازه‌های حفاظتی جدید پیشنهاد شده برای کنترل فرسایش در قوس بیرونی رودخانه‌هاست. در این روش یک لوله منفذدار در امتداد قوس روی بستر قرار گرفته که دبی هوا از دو انتهای آن به درون جریان اصلی تزریق می‌شود. براساس مطالعات گذشته پارامترهای زیادی بر بازدهی این سازه می‌توانند مؤثر باشند که موضوع مطالعه شده در این پژوهش است. در این مطالعه به بررسی مورفولوژی بستر و الگوی جریان در یک کانال قوسی ۹۰ درجه با نسبت شعاع به عرض ۴ که در محدوده قوس‌های ملایم است، تحت تأثیر ۴ عدد فرود (۰/۳۷، ۰/۴۱، ۰/۴۵ و ۰/۴۷) پرداخته شده است. نتایج نشان دادند با نصب سازه جت غیر همفاز ماکزیمم آبشستگی موجود در قوس بیرونی به میانه فلولم منتقل شده است. از طرفی با کاهش فاصله لوله متخلخل از قوس بیرونی در فواصل صفر، ۳/۵۷ و ۱۱/۴۲ درصدی، به ترتیب مقدار آن ۸۷/۹ و ۵۴/۵ و ۱۵/۱۵ درصد کاهش یافت. همچنین حضور سازه در قوس بیرونی با ایجاد جریان ثانویه، منطقه ماکزیمم سرعت را در مقاطع ۴۵ و ۷۰ درجه به ترتیب ۵۳/۴ و ۸۲ درصد از قوس خارجی دور نموده است.

واژگان کلیدی: قوس رودخانه، جت هیدرولیکی غیرهمفاز، آبشستگی، رسوبگذاری، جریان ثانویه

۱- مقدمه

سطح آب در قوس بیرونی و کاهش آن در قوس داخلی در هر مقطع می‌شود. در اثر ایجاد اختلاف سطح آب جریان‌های عرضی شکل گرفته که با تداخل نیروی گریز از مرکز و توزیع غیریکنواخت قائم سرعت، با جریان عرضی مقابله کرده، بنابراین از قوس داخلی به سمت قوس بیرونی حرکت می‌کنند. برخورد این جریان‌های ثانویه با جریان اصلی موجود در رودخانه موجب شکل‌گیری جریان‌های حلزونی شده که مهمترین عامل فرسایش در قوس خارجی رودخانه و

قوس رودخانه‌ها از مهمترین مکان‌های مناسب برای آبیگری شبکه‌های آبیاری و زهکشی به شمار می‌روند که همواره با مشکل فرسایش و رسوبگذاری مواجه هستند، پس مطالعه شرایط آن‌ها و یافتن روش و سازه‌ای برای کنترل فرسایش و رسوبگذاری در آن‌ها همواره از دغدغه‌های بشر است. با ورود جریان به داخل قوس، ذرات جریان تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز ناشی از قوس قرار گرفته که موجب افزایش

بررسی آزمایشگاهی پارامترهای مؤثر در طراحی جت هیدرولیکی ... رسوبگذاری در قوس داخلی است. هر ساله پژوهشگران مطالعات فراوانی برای حفاظت از قوس بیرونی رودخانه‌ها و فهم سازوکار آبستگي انجام می‌دهند. شیب جانبی بستر در قوس توسط ایکدا [1]، زیمرمن و کندی [2]، اودگارد [3] و بلانکرت [4] بررسی شد. شکری [5] از اولین پژوهشگرانی است که به مطالعه کانال قوسی ۱۸۰ درجه با نسبت‌های مختلفی از شعاع رودخانه به عرض آن پرداخته است. رزوفسکی در سال ۱۹۶۱ [6] قوس رودخانه را به شکل عددی مورد مطالعه قرار داد. همچنین به بررسی توزیع سرعت و تنش برشی در قوس ۱۸۰ درجه پرداخت. نتایج وی نشان داد منطقه بیشترین فرسایش در قوس بیرونی، در پایین دست قوس و در بازه ۱/۵ برابر عرض رودخانه اتفاق می‌افتد. امروزه تکنیک‌های مختلفی برای مقابله با آبستگي و کنترل فرسایش در قوس بیرونی استفاده می‌شود که می‌توان به مواردی همچون نصب انواع آبشکن در قوس بیرونی، نصب صفحات مستغرق، پوشش‌های گیاهی، پوشش‌های مختلف همچون گابیون، ریپ رپ و غیره اشاره کرد. با وجود کارایی مناسب روش‌های ذکر شده در کنترل و کاهش آبستگي قوس بیرونی، تمامی آنها دارای معایبی از جمله ایجاد سازه‌ای در بستر رودخانه‌ها در جهت عرضی است که موجب کاهش عرض نایبری می‌شود، از طرفی ایجاد گودالی در بستر و در اطراف و دماغه سازه‌ها، عامل تخریب این سازه‌ها است، به علاوه اجرای این سازه‌ها در رودخانه‌های دائمی و عمیق نیازمند صرف هزینه و وقت زیاد است. ویجینیگا و همکاران [7] روش جدیدی برای کاهش آبستگي در قوس ۱۹۳ درجه را گزارش کردند که به شکل مناسبی به مقابله با جریان ثانویه ناشی از قوس پرداخته و از رسیدن این جریان به بستر و قوس خارجی و تخریب آن جلوگیری می‌کند. آنها همچنین توزیع سرعت و جریان ثانویه در قوس ۱۹۳ درجه را با وجود این سازه بررسی و وجود یک سلول چرخشی در خلاف جهت جریان ثانویه ناشی از انحنا را گزارش کردند. در این روش یک لوله متخلخل در امتداد طولی قوس و نزدیک به دیواره بیرونی روی بستر قرار گرفته و از این طریق هوای فشرده با فشار به درون جریان اصلی تزریق می‌شود. با بالا آمدن حباب‌های هوا در سراسر لوله متخلخل، تقریباً یک

صفحه از حباب هوا در امتداد قوس خارجی رودخانه تشکیل و جریان ثانویه‌ای ایجاد کرده که در خلاف جهت جریان ثانویه جریان اصلی است و با هم تداخل و آن را خنثی می‌کند، پس از رسیدن جریان ثانویه اصلی به دیواره قوس بیرونی و تخریب و فرسایش آن جلوگیری می‌کند. مطالعات بلانکرت و همکاران [8] نشان داد در جریان مسیر مستقیم، حباب‌های ایجاد شده، منطقه‌ای در حدود ۴ برابر عمق آب را پوشش می‌دهد و در جریان با انحنا شدید این منطقه کمی کوچکتر شده و به حدود ۳ برابر عمق آب می‌رسد. دوگویی و همکاران [9، 10، 11، 12] میدان سرعت و توپوگرافی بستر را در قوس‌های مورفودینامیک با حضور جت هیدرولیکی غیر همفاز مورد مطالعه قرار دادند. براساس نتایج آنها سلول چرخشی تولیدی ناشی از حباب، منطقه هسته ماکزیمم سرعت‌های طولی و عمقی جریان را تغییر می‌دهد. همچنین اصلاح قابل ملاحظه مورفولوژی بستر و کاهش چشمگیر ماکزیمم آبستگي قوس خارجی از نتایج مطالعه آنها است. به علاوه براساس نتایج آنها بیشینه آبستگي قوس بین زوایای ۶۰ و ۹۰ درجه دورتر از قوس بیرونی و به سمت مرکز انتقال یافته است. براساس پژوهش‌های آنها [13] با تداخل سلول چرخشی ناشی از حباب و جریان ثانویه ناشی از قوس، شیب مورفولوژی و همچنین قدرت جریان ثانویه به طور قابل توجهی کاهش یافتند. همچنین ماکزیمم کاهش آبستگي به میزان ۵۰٪ و دورتر از دیواره بیرونی رخ داده است. دوگویی و همکاران [14] با اندازه‌گیری قدرت و اندازه جریان ناشی از حباب‌ها، دریافتند این دو پارامتر مستقل از سرعت جریان پایه بوده و با عمق آب افزایش می‌یابند. براساس مطالعات آنها این تکنیک، می‌تواند به عنوان یک تکنیک اصلاح مورفولوژی در رودخانه‌های کم عمق و کانال‌های باز استفاده شود. ایزدینیا و حیدرپور [15] روش‌های مختلف کنترل آبستگي اطراف پایه پل از جمله تکنیک تزریق حباب، طوقه و کابل را بررسی و با هم مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که گردنبد کامل ایجاد حباب هوای ناشی از جت هیدرولیکی غیر همفاز مؤثرترین روش کنترل آبستگي نسبت به سایر روش‌ها است. تامرادی و همکاران (۱۳۹۷) برای کاهش فرسایش قوس ۱۸۰ درجه تکنیک جت

رینولدز را از پارامترهای بی بعد بدست آمده نادیده گرفت، از

$$\frac{d}{h}, \frac{L}{h}, \theta, \frac{d_0}{h}, \frac{D_0}{h}, \frac{D_{50}}{h}, \frac{\rho_s}{\rho}, S,$$

در این پژوهش ثابت در نظر گرفته شده است پس

پارامترهای نهایی به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{Z}{h} = f\left(\frac{q}{Q}, \alpha, Fr, \frac{D}{h}\right) \quad (3)$$

که در آن Fr عدد فرود است. کانال آزمایشگاهی استفاده شده یک کانال قوسی ۹۰ درجه با مقطع مستطیلی واقع در دانشگاه شهید چمران اهواز بود. قسمت مستقیم بالادست ۵ متر، قسمت مستقیم پایین دست ۳ متر، شعاع بیرونی و درونی قوس به ترتیب ۳/۱۵ و ۲/۴۵ متر با عرض ۰/۷ متر، با نسبت شعاع به عرض برابر ۴ بود. برای کنترل سطح آب از دریچه تنظیمی در انتهای فلوم استفاده شد. کف فلوم از رسوباتی با قطر متوسط ۱/۵ میلیمتر با انحراف معیار ۱/۲۲ $\sigma_g = (d_{84}/d_{16})^{0.5} =$ در لایه‌ای به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر پوشیده شده بود. شکل (۱) نمایی از این فلوم را نشان می‌دهد.

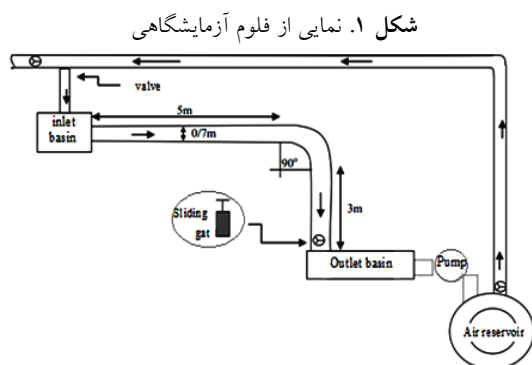


Fig. 1. Schematic view of laboratory channel

سیستم صفحه حباب از لوله‌ای متخلخل به قطر بیرونی ۱/۵ سانتی‌متر نصب شده روی پایه‌های فلزی شکل گرفت همچنین دبی تزریق هوا توسط روتامتر اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها در ۳ دبی تزریق هوا ۴۶، ۴۸ و ۵۰ لیتر بر دقیقه انجام شد. همچنین از دو دستگاه بلوور ۸۰۰ وات برای تأمین دبی هوا استفاده شد که از دو طرف به دو سر لوله وصل شد تا دبی هوا به شکل یکنواخت در تمام طول لوله تزریق شود. همه آزمایش‌ها در ۴ دبی ۳۰، ۳۳، ۳۶ و ۳۹ لیتر بر ثانیه با

همفاز (تزریق آب) را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها حاکی از تأثیر بالای جت آب در کنترل آبستگي قوس بود [16]. با توجه به مرور منابع پارامترهای بسیاری بر کارایی این روش مؤثر است و همچنین با توجه به مزایای این روش نسبت به سایر روش‌های حفاظت از قوس، برای بهره‌وری هرچه بهتر از این روش نوین، مطالعات آزمایشگاهی فراوانی نیاز است. پس در این پژوهش به بررسی برخی از پارامترهای مؤثر بر این تکنیک پرداخته می‌شود.

۱- مواد و روش‌ها

مهمترین پارامترهای مؤثر در عملکرد سازه جت هیدرولیکی غیر همفاز به منظور کاهش آبستگي قوس ۹۰ درجه در رابطه (۱) آورده شده است:

$$Z = f(B, S, R, Q, h, \rho, g, \mu, D_{50}, \sigma_g, \rho_s, \phi, \alpha, L, d_0, d, D, \theta, D_0, q) = 0 \quad (1)$$

که در این رابطه:

B : عرض کف کانال، h : عمق بالا دست جریان q : دبی تزریق هوا، Q : دبی جریان ورودی، Z : عمق آبستگي، g : شتاب ثقل، p : چگالی سیال، ρ_s : چگالی ذرات رسوب، μ : لزجت دینامیک، d_{50} : قطر متوسط ذرات بستر، σ_g : انحراف معیار هندسی توزیع ذرات بستر، L : طول لوله متخلخل، d_0 : قطر روزنه‌ها بر روی لوله، d : فاصله روزنه‌ها بر روی لوله، D : فاصله لوله از دیواره خارجی قوس D_0 : قطر لوله متخلخل، ϕ : زاویه ایستایی ذرات، θ : زاویه قوس، R : شعاع قوس، S : شیب کانال و α : زاویه برخورد صفحه هوا با آب تعریف شده است. با استفاده از تئوری باکینگهام می‌توان رابطه (۱) را به صورت رابطه (۲) نوشت:

$$\frac{Z}{h} = \left(\sigma_g, \frac{D_0}{h}, \frac{B}{h}, \frac{D_{50}}{h}, \frac{d}{h}, \frac{d_0}{h}, \frac{D}{h}, \frac{L}{h}, \frac{R}{h}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{q}{Q}, \alpha, \theta, Fr, Re, S, \phi \right) \quad (2)$$

که در آن $Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$ عدد فرود و $Re = \frac{Vh}{\nu}$ عدد رینولدز جریان است. وقتی عدد رینولدز بزرگتر از ۱۰۰۰۰ باشد می‌توان از تأثیر لزجت چشم‌پوشی کرد [17]. در این پژوهش حداقل عدد رینولدز برابر ۴۲۸۵۷ است، بنابراین می‌توان عدد

فاصله ۰، ۲/۵ و ۸ سانتی‌متر از قوس بیرونی در نظر گرفته شده و تمامی آزمایش‌ها تحت زاویه صفحه حباب با جریان اصلی (α)، ثابت و برابر ۹۰ درجه انجام گرفت. شرایط آزمایشگاهی در جدول (۱) ارائه شده است.

برای بررسی الگوی توزیع سرعت در قوس ملایم بدون حضور و با حضور سیستم جت هیدرولیکی غیر همفاز از دستگاه سرعت سنج الکترومغناطیس JEFALC مدل ACM3-RS با دقت ± 2 درصد استفاده شد. در هر نقطه اندازه‌گیری‌ها با فرکانس ۲۰ هرتز و به مدت ۶۰ ثانیه انجام شد. پس از پایان هر آزمایش توپوگرافی بستر با استفاده از محلول رقیق سیمان و آب به گونه‌ای تثبیت شد به طوریکه در زمان اندازه‌گیری سرعت هیچ ذره‌ای جابه‌جا نشده و توپوگرافی بستر بهم نخورد. مولفه‌های ۳ بعدی سرعت طولی، عرضی و عمقی برای دبی ۳۶ لیتر بر ثانیه و دبی تزریق ۵۰ لیتر بر دقیقه در کمینه ۴ عمق از بستر و در جهت عرضی در ۱۴ نقطه برداشت شد. همچنین در مقاطع ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۵۵، ۶۰، ۶۵، ۷۰، ۷۵، ۸۰، ۸۵، ۹۰ و ۵۰ سانتی‌متر پایین دست و بالادست قوس سرعت برداشت شد، شکل (۲).

عمق ۱۱ سانتی‌متر تحت شرایط آب زلال انجام گرفت. همچنین برای تعیین زمان تعادل، آزمایش طولانی مدت ۱۲ ساعته در دبی ۳۳ لیتر بر ثانیه انجام شد و زمان ۴ ساعت به عنوان زمان تعادل تمامی آزمایش‌ها انتخاب شد. برای تسطیح سطح رسوبات در طول فلوم، از اربه‌ای مجهز به یک صفحه فلزی قائم، با قابلیت جابه‌جایی در عرض فلوم، استفاده شد. دبی جریان به وسیله دبی سنج آلتراسونیک با دقت ± 0.1 لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. در هر آزمایش با بستن دریچه کنترل پایین دست، شیر ورودی کانال به آرامی باز شده به گونه‌ای که هیچ انتقال رسوبی به پایین دست صورت نگیرد و شرایط آب زلال حفظ شود. با افزایش تدریجی عمق آب در کانال به تدریج دریچه کشویی پایین دست باز شده و هم‌زمان دبی ورودی به فلوم به آرامی افزایش و با ادامه این روند دبی و عمق مورد نظر تنظیم شد. با استفاده از متر لیزری با دقت ($\pm 1.0\text{mm}$) پروفیل کف برداشت شد. در تمامی آزمایش‌ها پروفیل کف در ۲۴ مقطع در طول فلوم با فاصله نقاط عرضی ۳/۵ سانتی‌متر و فاصله مقاطع طولی ۵ درجه اندازه‌گیری شد، همچنین برای بررسی فاصله بهینه لوله متخلخل از قوس خارجی آزمایش‌هایی در ۳

جدول ۱. شرایط آزمایشگاهی

Label Run	Q(l/s)	q _{air} (l/min)	H(cm)	Fr	α (degree)	D/h	D ₅₀ (mm)
T _{xx-0-0}	30,33, 36,39	-	11	0.37,0.41,0.45,0.47	-	-	1.49
TB _{xx-46-0}	30,33,36,39	46	11	0.37,0.41,0.45,0.47	90	0	1.49
TB _{xx-48-0}	30,33,36,39	48	11	0.37,0.41,0.45,0.47	90	0	1.49
TB _{xx-50-0}	30,33,36,39	50	11	0.37,0.41,0.45,0.47	90	0	1.49
TB _{xx-46-2.5}	30,33,36,39	46	11	0.37,0.41,0.45,0.47	90	0.23	1.49
TB _{xx-48-2.5}	30,33,36,39	48	11	0.37,0.41,0.45,0.47	90	0.23	1.49
TB _{xx-50-2.5}	30,33,36,39	50	11	0.37,0.41,0.45,0.47	90	0.23	1.49
TB _{xx-46-8}	30,33,36,39	46	11	0.37,0.41,0.45,0.47	90	0.72	1.49
TB _{xx-48-8}	30,33,36,39	48	11	0.37,0.41,0.45,0.47	90	0.72	1.49
TB _{xx-50-8}	30,33,36,39	50	11	0.37,0.41,0.45,0.47	90	0.72	1.49

Table.1.Experimental condition

شکل ۲. شماتیکی از نقاط برداشت سرعت

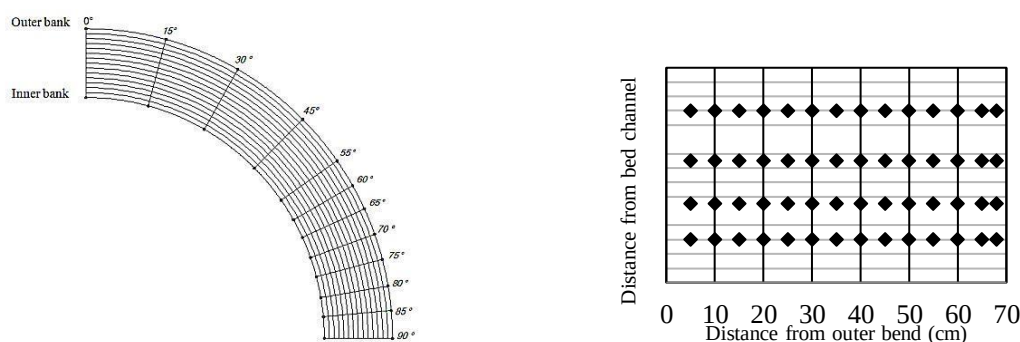


Fig. 2. Plan view of the velocity measured point

۳- بحث و نتایج

۳-۱- تأثیر سازه جت غیرهمفاز بر توپوگرافی بستر

برای تحقق اهداف این پژوهش در ابتدا آزمایش‌هایی به منظور بررسی تأثیر سازه جت غیرهمفاز بر توپوگرافی بستر انجام شد، پس از تأیید فرضیه مؤثر بودن سازه، آزمایش‌های اصلی به منظور بررسی پارامترهای مؤثر بر بازدهی سازه انجام شد. در تمامی این آزمایش‌ها فاصله منافذ روی لوله متخلخل و دبی خروجی از روزنه‌ها ثابت فرض شد. همچنین فاصله لوله در موقعیت ثابت ۲/۵ سانتی‌متری از قوس بیرونی در نظر گرفته شد.

پس از انجام هر آزمایش و پایان زهکشی توپوگرافی بستر برداشت شده، با استفاده از نرم افزار Tecplot 360Ex 2016R2 ترسیم شد. شکل (۳-الف و ۳-ج) تغییرات توپوگرافی بستر را که نسبت به شعاع مرکزی قوس (R) بدون بعد شده را در آزمایش‌های مرجع (بدون حضور سازه) برای اعداد فرود ۰/۳۷ و ۰/۴۱ نشان می‌دهند. با ورود جریان به داخل قوس، به دلیل وجود انحنا قوس خطوط جریان از مسیر اصلی منحرف شده و همچنین اختلاف سطح آب در قوس بیرونی و داخلی موجب ایجاد گرادیان فشار و در نهایت تولید جریان‌های ثانویه پادساعتگرد شده که با تداخل آن‌ها با جریان حلزونی، موجب فرسایش در قوس بدون سازه حفاظتی می‌شود [18].

فرسایش در قسمت ابتدایی قوس (یک سوم ابتدایی) و در نزدیکی قوس داخلی شروع ولی مقدار آن جزئی و در حدود ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متر، ولی ماکزیمم فرسایش در نیمه دوم قوس و در مقاطع ۶۰ تا انتهای فلوام اتفاق افتاده، تا جایی که نسبت ماکزیمم آبشستگی به عمق جریان (Z/h)، برای نسبت سرعت به سرعت بحرانی (v/v_c)، ۰/۵۲ و ۰/۵۵ یعنی اعداد فرود ۰/۳۷ و ۰/۴۱ به مقدار ۰/۲۳ و ۰/۵۲ و به فواصل ۳/۵ و ۱ سانتی‌متری از قوس بیرونی است. همچنین رسوبات شسته شده از قوس بیرونی نیز در مجاورت دیواره داخلی قوس و به سمت پایین دست آن تجمع یافته و تپه‌های رسوبی را ایجاد کرده که موجب کاهش عرض ناوبری شده است. با نصب سازه حفاظتی و صفحه‌ای از حباب‌های هوا، (شکل-های ۳-ب و ۳-د) جریان ثانویه ساعتگردی ایجاد شده که با

جریان ثانویه ناشی از قوس مقابله کرده و مانع از رسیدن آن به قوس بیرونی شده است و فرسایش در آن منطقه شده است. همچنین با مقایسه الگوی آزمایش‌ها می‌توان دریافت که ماکزیمم فرسایشی در میانه فلوام با ایجاد خط القعری در آن شده است. با نصب سازه برای اعداد فرود ۰/۳۷ و ۰/۴۱ ماکزیمم فرسایش در قوس بیرونی به ترتیب ۰/۶ و ۱ سانتی متر و در مقایسه با آزمایش مرجع موجب کاهش ۷۶ و ۸۲/۵ درصدی در فرسایش قوس بیرونی شده است.

۳-۲- تأثیر فاصله لوله متخلخل بر درصد کاهش عمق

آبشستگی

فرضیه این پژوهش بر این استوار است که محل شکل‌گیری صفحه حباب بر توپوگرافی بستر تأثیرگذار است، پس به منظور بررسی تأثیر آن، لوله متخلخل در ۳ فاصله ۸، ۲/۵ و صفر سانتی‌متر از قوس بیرونی و به موازات محور طولی فلوام نصب شد. شکل (۴-الف) توپوگرافی بستر را برای آزمایش بدون حضور سیستم جت غیر همفاز و شکل‌های (۴-ب) و (۴-ج و ۴-د) توپوگرافی بستر برای حضور سازه در حالت-هایی که لوله متخلخل به ترتیب در فاصله صفر، ۲/۵ و ۸ سانتی‌متر از قوس بیرونی قرار دارد را نشان می‌دهند. محورهای افقی و عمودی نسبت به شعاع مرکزی قوس (R) بدون بعد شده‌اند. در هر سه آزمایش با سیستم جت غیر همفاز ماکزیمم عمق چاله آبشستگی در انتهای فلوام نسبت به آزمایش مرجع به طرز چشمگیری کاهش یافته است. میزان ماکزیمم عمق چاله آبشستگی در قوس بیرونی در هر سه آزمایش به ترتیب ۰/۸، ۳ و ۵/۶ سانتی‌متر و در نتیجه موجب کاهش ۸۷/۹، ۵۴/۵ و ۱۵/۱۵ درصدی نسبت به آزمایش مرجع با ماکزیمم ۶/۶ سانتی‌متر (T36-0-0) شده است. با توجه به نتایج آزمایش زمانی که لوله متخلخل در قوس خارجی و بدون فاصله از آن نصب شده است، بهره‌وری و بازدهی سیستم بهتر از زمانی است که لوله در موقعیت ۸ سانتی‌متر و به فاصله دورتری نصب شود زیرا محل اثر جریان‌های ثانویه در قوس بیرونی قرار دارد و با فاصله گرفتن لوله متخلخل از قوس بیرونی قدرت آن برای دور کردن جریان‌های ثانویه کاهش می‌یابد پس این جریان‌ها موجب آبشستگی در قوس

نمودار ماکزیمم عمق آبستگي برای ۴ آزمایش با و بدون سیستم جت غیرهمفاز برای عدد فرود ۰/۴۵ در شکل (۵) ترسیم شده است.

در آزمایش مرجع (T36-0-0) گودال فرسایشی در نیمه دوم قوس در مقاطع ۴۰ تا انتهای فلوم با ماکزیمم عمق ۷/۳۷ سانتیمتری در انتهای فلوم شکل گرفته و میزان آبستگي تا انتهای فلوم ادامه دارد در نتیجه نیمه دوم قوس نیاز به محافظت بیشتری دارد. با وجود سازه، توپوگرافی بستر به کلی تغییر نموده و با توجه به شکل در آزمایش‌های TB36-50-0، TB36-50-2.5 و TB36-50-8 چاله فرسایشی به بالادست فلوم و تقریباً در مکان مشابه، از مقطع ۲۰ تا ۷۰ درجه ایجاد شده و ماکزیمم آن به ترتیب به ۴/۳ و ۵/۲ و ۶/۵ سانتی‌متر رسیده است.

بررسی آزمایشگاهی پارامترهای مؤثر در طراحی جت هیدرولیکی ... خواهند شد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند با افزایش فاصله لوله متخلخل از قوس بیرونی (از صفر به ۸ سانتی‌متر) میزان کاهش عمق آبستگي کاهش یافته به گونه‌ای که در آزمایش TB36-46-8 چاله آبستگي نسبت به آزمایش مرجع به خوبی اصلاح نشده است. همچنین ارتفاع رسوبات موجود در قوس داخلی در آزمایش TB36-46-0 نسبت به آزمایش‌های مرجع و TB36-46-2.5 و TB36-46-8 کمتر شده و برابر ۲ سانتی‌متر است. پیش از این دوگویی و همکاران [10، 11] با بررسی فواصل لوله متخلخل در کانال قوسی ۱۹۳ درجه از قوس بیرونی فاصله ۱۰ سانتی‌متر را به عنوان فاصله بهینه گزارش کردند.

شکل ۴. تغییرات توپوگرافی بستر: (الف) بدون سازه $Fr=0.45$ ، در حضور سیستم جت غیر همفاز در فواصل مختلف از دیوار خارجی (ب): $D=0$

سانتی‌متر، (ج): $D=2.5$ سانتی‌متر و (د): $D=8$ سانتی‌متر

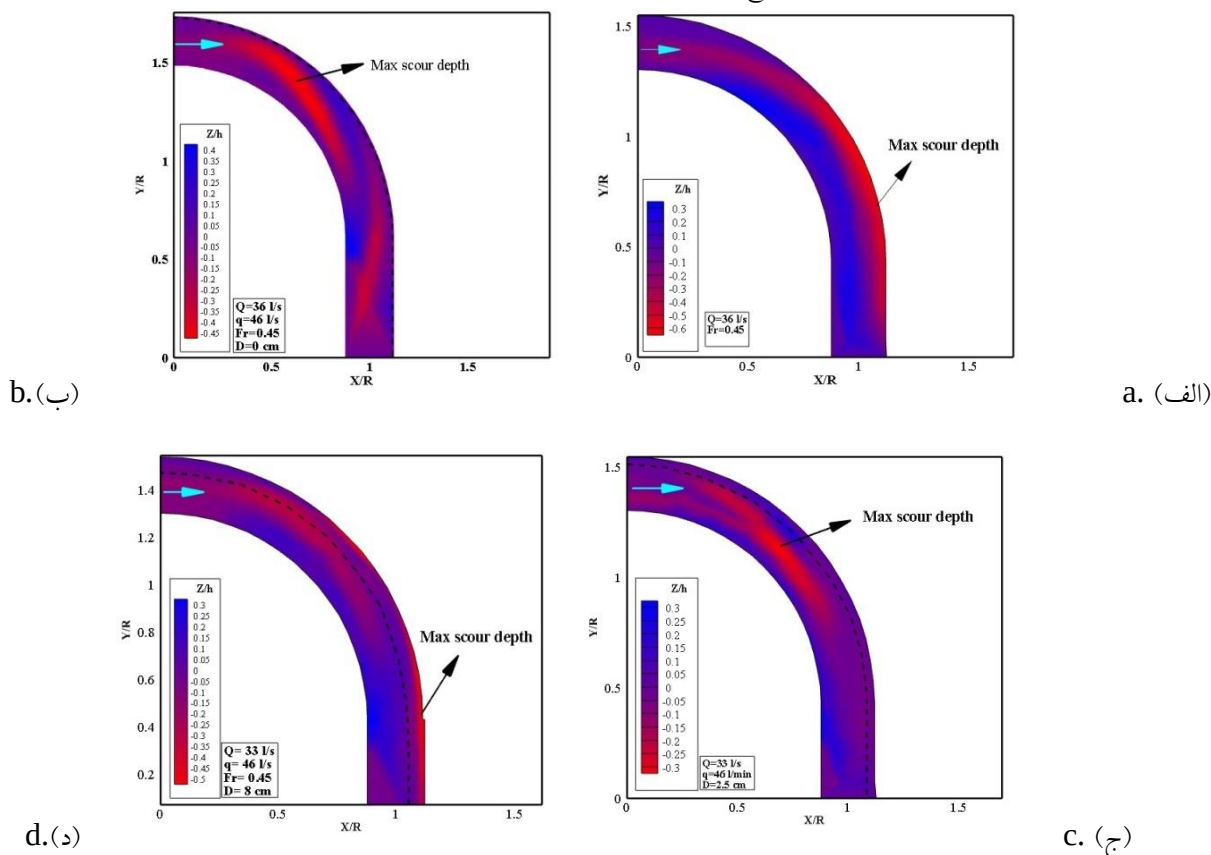


Fig. 4. The dimensionless bed topography; a), with out non-phase jet and $Fr=0.45$, and with non-phase jet b) for $D=0$ cm, c) for $D=2.5$ cm, d) for $D=8$ cm

قوس‌ها است ولی در آزمایش با وجود سازه از میزان آن کاسته شده زیرا وجود حباب‌ها به عنوان مانعی در مقابل جریان قرار گرفته و با تولید جریان ثانویه‌ای مخالف جریان ثانویه ناشی از قوس باعث انحراف جریان اصلی و دور شدن آن از قوس بیرونی و انتقال آن به میانه فلوام شده است. ماکزیمم آبشستگی در آزمایش مرجع (T36-0-0) برابر ۷/۳ سانتی‌متر مشاهده شد. در آزمایش‌های با وجود سازه، بیشینه آبشستگی نیمه دوم قوس در آزمایش (T36-50-8) شکل گرفته است که میزان آن برابر ۶/۷ سانتی‌متر و در مقطع ۸۰ درجه و کمینه آن در آزمایش T36-50-0 یعنی زمانی که سازه در محل قوس بیرونی نصب شده است که به میزان ۰/۵ سانتی‌متر و در مقطع ۷۰ درجه است. با قرار دادن سازه در فاصله بیشتر از قوس بیرونی جریان گردابی حاصل از آن تضعیف شده و توانایی آن در دفع جریان کاهش می‌یابد.

توپوگرافی بستر برای مقاطع عرضی در هر ۴ آزمایش در عدد فرود ۰/۴۱ برای مقاطع با بیشترین عمق آبشستگی یعنی ۶۵ و ۷۰ درجه در شکل (۷) نشان داده شده است. محور افقی نمایشگر فاصله نسبی نقاط برداشت شده از قوس بیرونی و محور عمودی آن عمق ماکزیمم آبشستگی نسبی است. در هر دو مقطع چاله فرسایشی در آزمایش مرجع از قوس بیرونی شروع و تقریباً تا فاصله ۴۰ سانتی‌متری از آن ادامه داشته و بیشینه آن به ترتیب ۴/۸۴ و ۴/۲۹ سانتی‌متر است.

شکل ۵. مقایسه نمودار ماکزیمم عمق آبشستگی آزمایش مرجع (T36-0-0) با آزمایش‌های در حضور سازه با فواصل مختلف از قوس خارجی

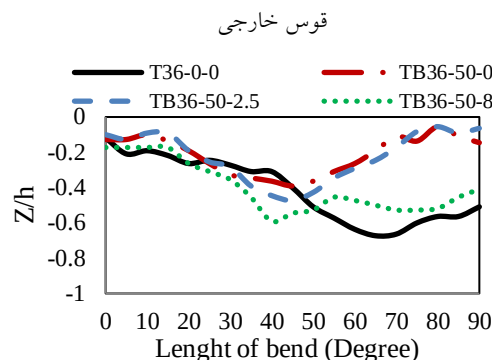


Fig. 5. Comparison of the maximum scour depth for the reference experiment (T36-0-0) and experiments with non phase jet in different locations

شکل ۶. مقایسه پروفیل طولی آزمایش مرجع (T36-0-0) با آزمایش‌های در حضور سازه با فواصل مختلف از قوس خارجی

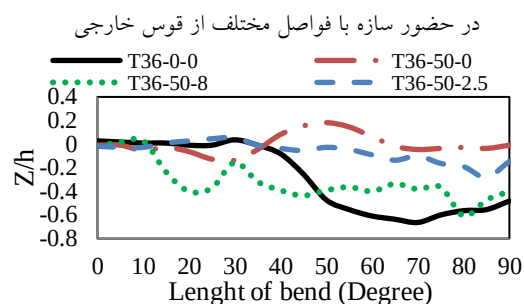


Fig. 6. Comparison longitudinal profiles of the maximum scour depth for the reference experiment (T36-0-0) and experiments with non phase jet in different locations

پروفیل طولی آزمایش‌های اخیر در نزدیکی دیوار خارجی و به فاصله ۳/۵ سانتی‌متری از آن در شکل (۶) ارائه شده است. با توجه به شکل در تمامی حالت‌ها در ساحل خارجی آبشستگی رخ داده است که این از ویژگی‌های بارز جریان در

شکل ۷. مقایسه پروفیل عرضی آزمایش مرجع (T33-0-0) با آزمایش‌های در حضور سازه با فواصل مختلف از قوس خارجی در $q=46$ (l/min) و $Fr=0.47$ (الف) و 70° (ب): $Fr=$

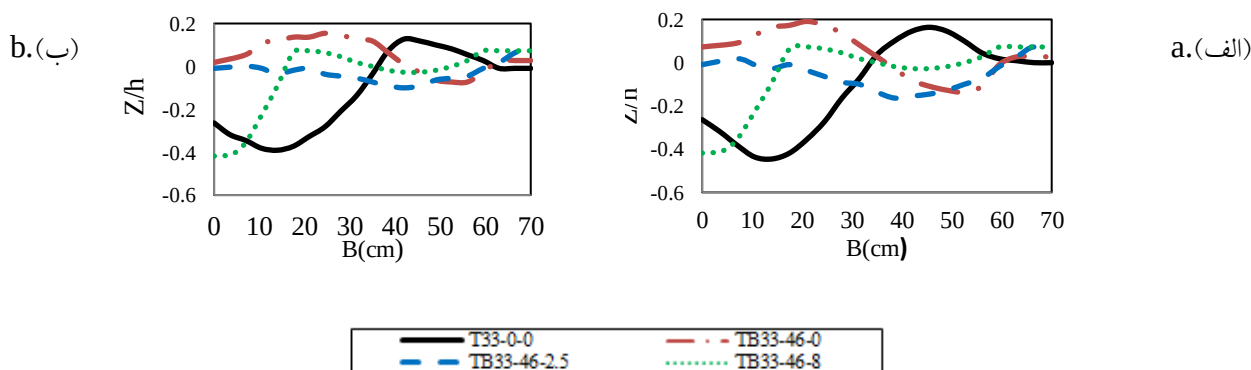


Fig. 7. Comparison lateral profiles of the maximum scour depth for the reference experiment (T33-0-0) and experiments with non phase jet in different locations in $q=46$ (l/min) and $Fr=0.47$, a) cross section 65° , b) cross section 70°

۳-۳- تأثیر دبی تزریق هوا بر مورفولوژی بستر

آزمایش‌های با حضور سازه هوادهی در ۳ دبی تزریق ۰/۴۶، ۰/۴۸ و ۰/۵۰ لیتر بر دقیقه انجام شد. شکل (۸-الف) نمودار بدون بعد پروفیل طولی را برای ۳ آزمایش در عدد فرود ۰/۴۷ نشان می‌دهد. هر سه پروفیل روند مشابهی داشته به گونه‌ای که چاله فرسایشی آنها در مکانی مشابه تشکیل شده و از زاویه تا ۷۰ درجه کشیده شده و از ۷۰ درجه تا انتهای فلوم یعنی در مکان ماکزیمم آبستگی در آزمایش شاهد، میزان آن کاسته شده ولی به صفر نرسیده است. با توجه به نتایج با افزایش دبی تزریق هوا در فاصله نزدیک قوس خارجی میزان فرسایش کاسته شده زیرا با افزایش دبی تزریق هوا قدرت جریان ثانویه ناشی از آنها افزایش و با قدرت بیشتری جریان اصلی را از ساحل خارجی دور و به میانه فلوم انتقال داده است و در این قسمت با افزایش دبی تزریق هوا میزان فرسایش افزوده شده است که گودی میانه فلوم از آثار مطلوب این سیستم بوده و افزایش گودی آن می‌تواند باعث سهولت در خطوط کشتیرانی شود. ماکزیمم عمق آبستگی در دبی تزریق ۰/۴۶، ۰/۴۸ و ۰/۵۰ لیتر بر دقیقه به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۹۱ و ۰/۹۳ سانتی‌متر بود در نتیجه مقدار آن به میزان ۰/۳۶، ۰/۴۱ و ۰/۴۶ درصد کاهش یافت.

شکل ۸. الف) پروفیل طولی آزمایش‌های با عدد فرود ۰/۴۷ در ۳ دبی تزریق. ب) نمودار بی بعد ماکزیمم عمق آبستگی نسبی در مقابل دبی تزریق هوای نسبی

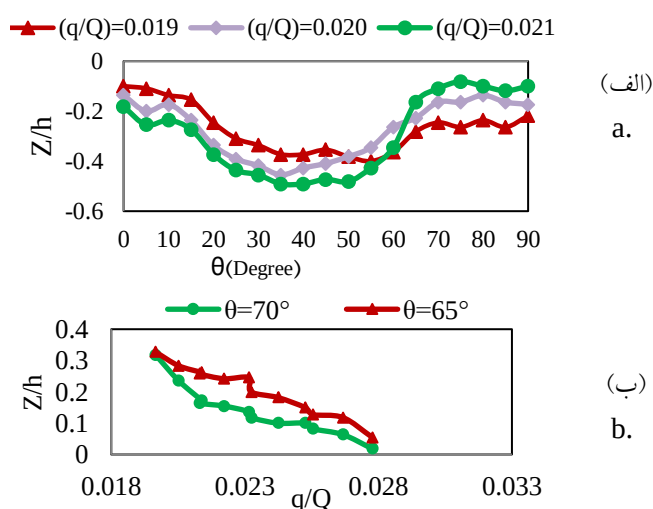


Fig.8.(a)longitudinal profiles of the maximum scour depth for $Fr=0.47$,and experiments with 3 air discharge,(b)Non-dimensional diagram of the maximum scour depth relative and the relative air discharge

در آزمایش اصلی با فاصله صفر سانتی‌متر از جدار خارجی TB33-46-0 چاله فرسایشی به میانه فلوم و در فاصله ۴۰ تا ۶۵ سانتی‌متری از قوس بیرونی قرار دارد و میزان آن در مقاطع ۶۵ و ۷۰ درجه به ۱/۱ و ۰/۵ سانتی‌متر و در آزمایش TB33-46-2.5 نیز چاله فرسایشی تا حدی اصلاح شده و ماکزیمم آن به میانه فلوم منتقل شده است. لازم به ذکر است که انتقال این گودال به میانه فلوم که در تمامی آزمایش‌های این پژوهش مشاهده شده از آثار مطلوب این سیستم بوده که موجب افزایش عرض ناوبری می‌شود. با توجه به نتایج با افزایش فاصله لوله متخلخل از قوس بیرونی در آزمایش TB33-46-8، ابعاد چاله فرسایشی تا حدی کوچکتر شده ولی ماکزیمم عمق آبستگی در نزدیکی قوس بیرونی به میزان ۴/۵ درصد افزایش یافته است. همچنین وجود سازه در فاصله صفر و ۲/۵ سانتی‌متری محل ماکزیمم آبستگی را ۷۳/۳ و ۳۵ درصد از مکان اولیه دور نموده است و در مکان ۸ سانتی‌متری تغییر چشمگیری در تغییر این محل رخ نداده است. در جدول (۲) میزان ماکزیمم آبستگی و درصد کاهش آن برای مقاطع ۷۵، ۸۰ و ۸۵ درجه برای دبی ۳۶ لیتر بر ثانیه و دبی تزریق ۰/۴۶ لیتر بر دقیقه آورده شده است. میانگین کاهش عمق آبستگی در تمامی آزمایش‌ها برای این مقاطع در عدد فرود ۰/۴۵ و در فواصل صفر، ۲/۵ و ۸ سانتی‌متر به ترتیب ۸۲/۶۲، ۶۴/۶۶ و ۱۴ درصد است. پیش از این و بلانکرت و همکاران [8]، دوگویی [10-14] و ویجبینگا [7] بیشینه کاهش آبستگی توسط این سازه را در قوس ۱۹۳ درجه، ۵۰ درصد گزارش کردند.

جدول ۲. مقایسه ماکزیمم عمق آبستگی در مقاطع ۷۵، ۸۰ و ۸۵ درجه

Test	F_r	$\theta(\text{deg})$	$Z_{\max}$	Reduction of n scour depth(%)
T36-0-0	0.45	75	6.6	-
T36-0-0	0.45	80	6.2	-
T36-0-0	0.45	85	6.2	-
TB36-46-0	0.45	75	1.5	77.3
TB36-46-0	0.45	80	0.6	90
TB36-46-0	0.45	85	1.2	80.6
TB36-46-2.5	0.45	75	1.5	77.3
TB36-46-2.5	0.45	80	2.1	66.1
TB36-46-2.5	0.45	85	3.1	50
TB30-46-8	0.45	75	4.9	25.7
TB36-46-8	0.45	80	5.6	9.6
TB36-46-8	0.45	85	5.7	8

Table 2. Comparison of the maximum scour depth in cross section 75°, 80° and 85°

در شکل (۸-ب) نمودار بدون بعد دبی تزریق هوا نسبت به دبی اصلی جریان در مقابل ماکزیمم عمق آبشستگی نسبی برای مقاطع ۶۵ و ۷۰ درجه را برای تمامی آزمایش‌ها نشان می‌دهد. هر دو مقطع روند یکسانی داشته به گونه‌ای که با افزایش دبی تزریق هوا میزان عمق آبشستگی کاسته شده و برای کمینه و بیشینه پارامتر محور افقی، ماکزیمم عمق آبشستگی در مقطع ۶۵° و ۷۰° به ترتیب ۸۳ و ۹۳ درصد کاهش یافت.

۳-۴- تأثیر سیستم هوادهی بر روی الگوی سرعت:

در شکل (۹ الف-ب-ج) کانتورهای سرعت طولی به همراه الگوی جریان ثانویه در مقاطع عرضی ۰°، ۴۵° و ۷۰ درجه برای آزمایش مرجع و همچنین آزمایش با حضور سازه جت غیر همفاز شکل (۹ د-ز) در عدد فرود ۰/۴۵ ترسیم شده است. در این شکل‌ها محور افقی فاصله نقاط برداشت شده از قوس بیرونی و محور عمودی آن‌ها بیشینه عمق آبشستگی نسبی است. با توجه به شکل در مقطع صفر درجه در ابتدای قوس بیشینه سرعت طولی در نزدیکی دیوار داخلی فلوم به فاصله ۵ سانتی‌متری از آن شکل گرفته است. همچنین یک جریان عرضی در نزدیکی دیوار داخلی در حال شکل‌گیری است که بیانگر جریان ثانویه ناشی از وجود انحنا است که با توجه به مطالعات رزوفسکی [6] تأثیر این جریان ثانویه در قسمت قبل از قوس نیز وجود دارد. به تدریج با پیشروی در قوس، در مقطع ۴۵ و ۷۰ درجه تا انتهای قوس ناحیه بیشینه سرعت در مجاورت دیواره بیرونی قرار گرفته که موجب فرسایش و افزایش چاله فرسایشی در این ناحیه می‌شود. با توجه به شکل جهت خطوط جریان در نزدیکی سطح آب به سمت قوس بیرونی و در نزدیکی بستر به سمت قوس داخلی است. این سلول جریان ثانویه پادساعتگرد به دلیل تقابل نیروی گریز از مرکز و گرادیان فشار جانبی از ابتدای قوس شکل گرفته و تا انتهای آن ادامه دارد که موجب انتقال خطوط جریان از سطح آب به بستر شده و با برخورد آنها به بستر موجب فرسایش در این ناحیه می‌شوند زیرا زاویه برخورد این خطوط در قوس بیرونی در جهت ناپایداری ذرات است ولی در قوس داخلی این رویه برعکس است یعنی جهت

خطوط از بستر به سمت سطح آب است و این خطوط موجب رسوبگذاری در این ناحیه می‌شوند. پژوهشگرانی همچون شکری [5]، رزوفسکی [6]، بلانکرت، قدسیان و وافقی [19]، بهرامی یاراحمدی [20] و کوچک [18]، در پژوهش‌های خود چنین الگویی را مشاهده کردند و عامل آن را وجود اختلاف فشار جانبی و شکل‌گیری جریان حلزونی گزارش کردند. ولی در آزمایش‌های با حضور سازه جت غیر همفاز شکل (۹-د-ز)، شکل کانتورهای سرعت و همچنین الگوی جریان ثانویه کاملاً تغییر کرده است. همانطور که قابل مشاهده است در ابتدای فلوم مقطع صفر درجه منطقه ماکزیمم سرعت جابه‌جا شده و تقریباً به میانه فلوم منتقل شده است.

به تدریج با فاصله گرفتن از شروع قوس در مقطع ۴۵ درجه، ۲ سلول جریان ثانویه ساعتگرد و پادساعتگرد دیده می‌شود، سلول پادساعتگرد در اثر نیروی گریز از مرکز و وجود گرادیان فشار جانبی ایجاد شده و سلول ساعتگرد ناشی از شکل‌گیری حباب‌های هوا توسط جت غیر همفاز است. در این آزمایش‌ها در تمامی مقاطع در نزدیکی ساحل خارجی منطقه حداقل سرعت و بیشینه سرعت از قوس بیرونی به میانه فلوم منتقل شده است شکل (۹ د-ز). ایجاد یک لایه برشی در بین ۲ سلول گردشی سبب حرکت خطوط جریان به سمت بستر می‌شود در نتیجه خط‌القعر از قوس بیرونی به سمت میانه فلوم انتقال یافته، با توجه به نتایج و هماهنگی این الگوها با توپوگرافی بستر می‌توان مشاهده نمود که ماکزیمم آبشستگی در محل برخورد ۲ سلول گردشی در جایی که سرعت طولی ماکزیمم خود را دارد اتفاق افتاده است. دوگویی [10-14]، ویجیینگا [7] و بلانکرت [8] نیز در پژوهش‌های خود نیز این موضوع را گزارش نمودند. در آزمایش مرجع به تدریج با فاصله گرفتن از شروع قوس در مقاطع ۴۵ و ۷۰ درجه بیشینه سرعت به ترتیب در فاصله ۲۰ و ۵ سانتیمتر از دیوار خارجی و در آزمایش با حضور سازه این فواصل به ترتیب در ۴۳ و ۲۸ سانتی‌متری از قوس بیرونی قرار گرفته است. در نتیجه وجود این سازه در قوس، ماکزیمم سرعت را در مقاطع ۴۵ و ۷۰ درجه به ترتیب ۵۳/۴ و ۸۲ درصد از دیواره خارجی دور نموده است.

شکل ۹. الگوی سرعت در آزمایش با عدد فرود ۰/۴۵ در مقاطع صفر، ۴۵ و ۷۰ درجه: بدون سازه برای مقاطع (الف)، (ب) و (ج) و با حضور سازه در مقاطع (د)، (ذ) و (ر)

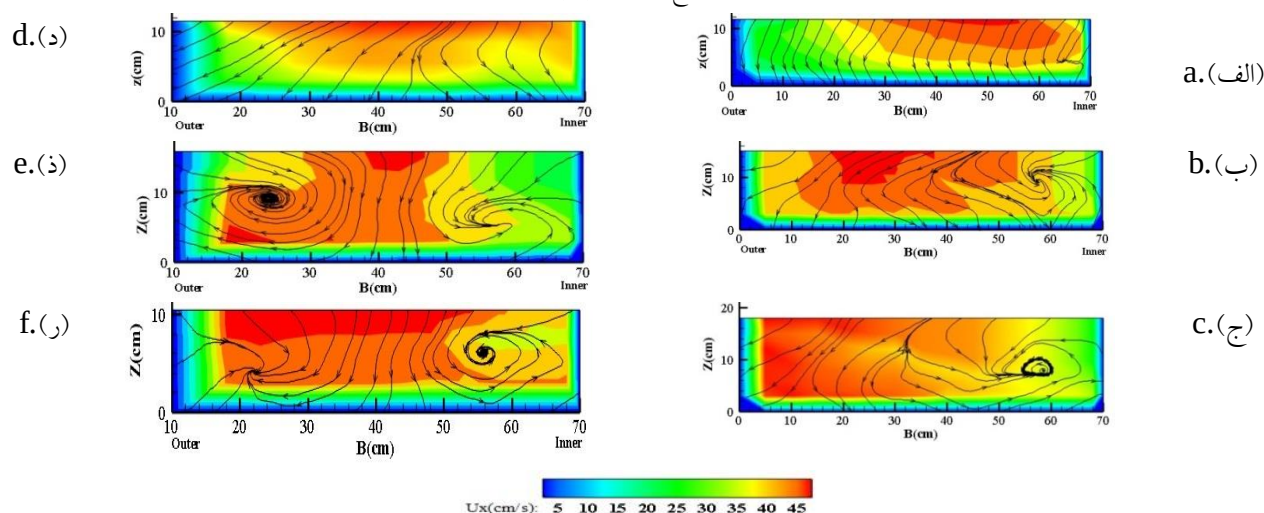


Fig.9. Longitudinal velocity contours (cm/s) and flow line pattern in sections for $Fr=0.45$ in cross sections 0° , 45° and 70° ; (a), (b) and (c) without non phase jet in cross sections and (d), (e) and (f) with non phase jet

همچنین منطقه ماکزیمم سرعت از قوس بیرونی فاصله گرفته و به میانه کانال منتقل شد به طوری که ماکزیمم سرعت در مقاطع ۴۵ و ۷۰ درجه قوس به ترتیب ۵۳/۴ و ۸۲ درصد از دیواره خارجی دور شده است.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش الگوی آبستگي و رسوبگذاري و همچنین الگوی سرعت با وجود تأثیر سازه جت هیدرولیکی غیرهمفاز تحت شرایط آب زلال در یک کانال قوسی ۹۰ درجه بررسی شد. آزمایش‌ها با ۴ عدد فرود ۰/۳۷، ۰/۴۱، ۰/۴۵ و ۰/۴۷ و در ۳ دبی تزریق هوا ۴۶، ۴۸ و ۵۰ لیتر بر دقیقه انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند وجود سازه هوادهی در کانال قوسی موجب اصلاح الگوی مورفولوژی شده به طوری که میزان رسوبگذاري در قوس داخلی و میزان فرسایش در قوس بیرونی کاهش یافت به طوری که درصد کاهش آبستگي در اعداد فرود ۰/۳۷ و ۰/۴۱ به ترتیب ۷۶ و ۸۲/۵ درصد بود. همچنین نتایج بررسی تأثیر فاصله لوله متخلخل از قوس بیرونی نشان داد با افزایش فاصله لوله از قوس بیرونی درصد کاهش آبستگي کاهش می‌یابد، به طوری که در فواصل صفر تا ۸ سانتی‌متر بیشینه کاهش آبستگي در قوس بیرونی به ترتیب ۸۷/۹، ۵۴/۵ و ۱۵/۱۵ درصد بود. در نتیجه بهترین مکان برای نصب لوله متخلخل قوس بیرونی پیشنهاد می‌شود. نتایج بررسی الگوی سرعت نشان داد با نصب سازه در قوس بیرونی موجب تولید جریان ثانویه‌ای می‌شود که در خلاف جهت جریان ثانویه ناشی از انحناء است پس با خشی کردن اثر آن موجب کاهش آبستگي در منطقه قوس بیرونی شده و

References

۵- مراجع

- [1] Ikeda S. 1975 On secondary flow and bed profile in alluvial curved open channel. Proc.16th Congr. Of IAHR, 105-112.
- [2] Zimmermann C. and Kennedy J. F. 1978 Transverse bed slopes in curved alluvial stream, Journal of Hydraulic Division, ASCE, 104(1),33-48.
- [3] Odgaard A. J. 1984 Flow processes in alluvial channel bend, Journal of Water Resources research, 24(1), 5-46.
- [4] Blanckaert K. 2002 Analysis of coherent flow structures in a bend based on instantaneous – velocity profiling, Third International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering EPFL.
- [5] Shukry A. 1950 Flow around bends in an open flume, Trans. ASCE, 115.
- [6] Rozovskii I. L. 1957 Flow of water in bend of open channel, Academy of sciences of the Ukrainian SSR, Institute of Hydrology and Hydraulic Engineering.
- [7] Wijbenga J.H.A., Schielen R., Blanckaert K. and Buschman F. 2006 Secondary flow and velocity redistribution by bubble screens in open channel bend, International Conf. on Fluvial Hydraulics, LISBON, PORTUGAL, 6-8 September.
- [8] Blanckaert K., Buschman F. A., Schleiss A. & Wijbenga J. H. A 2008 Redistribution of velocity

- in open channels and rivers by means of an air-bubble screen, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 141(1), PP. 1-13.
- [15] Izadinia E. and Heidarpour M. 2015 Comparison of Different Configurations of Air-bubble Screens around the Pier to Control Scour, *International Congress on Civil Engineering*, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- [16] Tamoradi Z., ahadiyan J., Najarchi M., Hassoni H., Najafizadeh MM. Effect of same phase hydraulic jet on reduction of scour in 180-degree bend. 2019 *Journal of Hydraulic*, 13(4), 57-68. (In Persian)
- [17] Novak P., Moffat A.I.B., Nalluri C., Narayanan R. 2007 *Hydraulic structures*. Hydraulic Fourth edition, Taylor & Francis, London. 725p.
- [18] Koochak P. 2017 Investigating of the effect of the bandallike groynes geometry on erosion patterns in 90 degree, Phd thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)
- [19] Ghodsian M. and Vaghefi M. 2009 Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T-shape spur dike in a 90 bend, *International Journal of Sediment Reserch*, 24(2), 145-158.
- [20] Bahrami Yarahmadi M. 2014 Experimental study of the combind bank attached V-vane and footing on bend topography variations in 90 bend. Phd thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)
- and bed-shear stress in straight and curved open channels by means of air bubble screen: Laboratory experiments, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 134 (2), 184-195.
- [9] Dugué V., Blanckaert K. & Schleiss, A. 2011 Influencing bend morphodynamics by means of an airbubble screen - Topography and velocity field, *Proc of the 7th IAHR Symp. on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*, Beijing, China.
- [10] Dugué V., Blanckaert K. & Schleiss A. 2012 Flow patterns induced by a bubble screen in a sharply curved flume based on Acoustic Doppler Velocity Profiler measurements, 8th Int Symp. on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering, Dresden, Germany, 19-21 September.
- [11] Dugue V., Blanckaert K. & Schleiss A. 2012 An Air-Bubble Screen used as a countermeasure to Reduce Erosion in Open-Channel bends, *ICSE6-204*, 27-31 August, Paris.
- [12] Dugue V. and Schleiss A. J. 2012 Bend scour reduction by and an air-Bubble Screen under live-bed conditions, *Proceeding of the International conference on fluvial hydraulics*.
- [13] Dugue V., Blanckaert K., Chen Q. & Schleiss A. 2013 Reduction of bend scour with an airbubble screen Morphology and flow pattern, *International Journal of Sediment Reserch*, 28(1), 15-23.
- [14] Dugue V., Blanckaert K., Chen Q. and Schleiss A. 2015 Influencing flow patterns and bed morphology

Experimental investigation of the effective parameters in design of non-phase hydraulic jet in reduction of 90 degrees bend scour

P. Maleki¹, J. Ahadiyan^{2*}, S M. Kashefipour³, M. Fathi Moghadam⁴

1. Phd student of Water Engineering , Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of ,Ahvaz, Iran.
2. Associate professor ,Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
3. Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
4. Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

*ja_ahadiyan@yahoo.com

Absract

Some events such as scour and deposition in rivers may endanger the stability of the outer bank's bend and reduce the navigable width of them. So far, different techniques have been developed to control this phenomena such as bottom vanes, submerged groynes, bandal-like structures. In the present study, the influences of non-phase hydraulic jet usage on bed scouring and deposition in a 90 bend has been investigated experimentally. Experiments were conducted in a experimental channel to measure the variations of bed topography under a clear water condition. The 90 bend is connected to an upstream straight reach 5 m long and a downstream straight reach 3 m long. The channel was rectangular having 70 cm width and 280 cm radius of bend to centerline. ($R/B=4$; where R =radius and B =flume width). Four Froude number values including 0.37, 0.41, 0.45 and 0.47 with a constant flow depth of 11 cm under clear water condition were used for each test. Bed topography was measured with a laser meter and contour lines were plotted with the Tecplot360 software. The scour geometry in a bend depends on channel geometry (channel width, channel , radius and bed slope), flow conditions (depth and discharge or velocity), non-phase hydraulic jet characteristics (length, angle with bank, location in bend), sediment properties (specific gravity, grain size), and fluid parameters (density and viscosity). Therefore, by Using the Buckingham theory and after eliminated the parameters with constant values, the important parameters were q/Q , D/h , Fr and α . Three-dimensional (3D) velocity components were measured using the electromagnetic velocity meter JFE ALEC model ACM3-RS in tests with and without an installed non-phase hydraulic jet. The sampling rate was 20 Hz and time of sampling was 60 seconds. So the minimum 1200 data were collected for each point and their mean was used for determine the 3D flow pattern. The results showed that with installing non-phase hydraulic jet, the maximum scour depth is reduced as much as 77%, 82.7% for Froude numbers equal to 0.37 and 0.41, respectively. It was also found that generally the scour depth occurs away from the outer bank and it was shifted toward the middle parts of the section in the main experiments, which can positively result in the increase in the navigable width and also sediment deposition was observed at the outer bank in some experiment. The results show that non-phase hydraulic jet significantly modified bed topography and reduced the maximum scour depth in outer bank. In this paper to evaluate the effect of space between porous tube and outer bank , three different space ($D=0, 2.5$ and 8 cm) were used. It was found that by decreasing the space between outer bank and porous tube the amount of scour decreases and the maximum scour depth reduced as much as 87.9%, 54.5% and 15.15% for space equal to 0, 2.5 and 8 cm, respectively and it is most efficient when it placed on outer bank. Maximum scour was usually saw near the outer bank, and attributed to the maximum stream wise velocities that occur near the toe of the bank , also the analysis of data have shown that the presence of non-phase hydraulic jet caused uniformity in the velocity distribution at upstream and the high velocity zone moved toward the center of the channel and inner wall. The installing a non-phase hydraulic jet on the outer bank of bend, by its rising velocities, generated a secondary flow that rotates in the sense opposite to the curvature-induced secondary flow. The jet-induced secondary flow cell causes an inwards shift of the cores of maximum streamwise velocity and maximum vertical velocity impinging on the bed, that both of them play an important role in the scour in the outer bank.

Keywords: River bend, Non-phase hydraulic jet, Scour, sedimentation, Secondary flow