

بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در قوس 90 درجه تند کانال مستطیلی

عزیز سوزه پور^{1*}، محمود شفاعی بجستان² و یوسف قدو³

تاریخ دریافت: 90/11/11 تاریخ پذیرش: 91/09/06

1- دانشجوی دکتری، گروه سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

2- استاد گروه سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

3- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبه: E-mail: asozapor@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه سری آزمایش‌هائی در قوس 90 درجه‌ی تند با $R/B=2$ با عمق ثابت 17 سانتی متر در سه دبی 15، 25 و 35 لیتر بر ثانیه با اعداد فرود 0/17، 0/28 و 0/4 انجام گرفته است. با ایجاد شبکه $4 \times 12 \times 60$ (به ترتیب از راست به چپ در جهت طولی، عرضی و عمقی) در محدوده قوس مؤلفه‌های سه بعدی سرعت در هر گره توسط دستگاه سرعت سنج ثبت گردیده و سرانجام توسط نرم افزارهای تک پلات و اکسل شکل‌ها و نمودارها ترسیم و تحلیل گردید. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود، شروع ناحیه جدایش جریان از دیوار داخلی در نیمه دوم قوس به طرف بالادست قوس پیشروی می‌کند و توزیع تنش برشی کف دو ناحیه پرتنش یکی از موقعیت 10 تا 70 درجه نزدیک دیوار داخلی و دیگری از موقعیت 80 درجه تا انتها میدان داده برداری را نشان می‌دهد و همچنین روند تغییرات قدرت جریان ثانویه در طول قوس، دو نقطه حداکثر مقدار قدرت یکی در موقعیت 50 درجه و دیگری در موقعیت 80 درجه را نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی: الگوی جریان، تنش برشی، قدرت جریان ثانویه، قوس 90 درجه تند.

Experimental Investigation of Flow Pattern at a 90 Degree Sharp Rectangular Bend

A Sozapor^{1*}, M Shafaai Bejestan² and Y Ghado³

Received: 31 January 2012 Accepted: 26 November 2012

¹Ph.D student, Dept. of Hydraulic Structures, Shahidchamran Univ., Iran.

²Prof., Dept. of Hydraulic Structures, Shahidchamran Univ., Iran.

³Graduated student, Dept. of Hydraulic Structures, Shahidchamran Univ., Iran.

*corresponding Author Email: asozapor@yahoo.com

Abstract

In this study a series of tests in a 90 degree sharp bend with $R/B=2$ and constant flow depth 17cm at three different flow discharges of 15, 25 and 35 lit/sec having Froude numbers of 0.17, 0.28 and 0.4 respectively are conducted. By applying a mesh with the nodes no. of $4*12*60$ (in depth, width and longitude) within the bend, the three components of flow velocity were measured at each node. The obtained data were plotted by Tecplot and were analyzed by Excel software. The results show that by increasing the Froude number, the initiation separation region from the inner wallbends at bend middle has been shifted to the upstream. Bed shear stress distribution show that it reaches to a maximum value at two locations: the first location is within 10-70 degree in inner wall and the second location is within 80 degree till the end of bend in outer wall. Computation of secondary flow strength show that its maximum magnitude happens at 50 degree (in inner bank) and 80 degree (in outer wall) locations.

Keywords: Bed shear stress, Pattern flow, Secondary flow strength, 90 degree sharp bend.

مقدمه

و تاثیر نیروی گریز از مرکز، موجب می شود تا در هر مقطع عرضی سطح آب در قوس خارجی بالاتر از قوس داخلی قرار گیرد. اختلاف بار آبی باعث پیدایش جریان عرضی می شود که با تداخل آن با نیروی گریز از مرکز و در نظر گرفتن تغییرات توزیع قائم سرعت جریان عرضی در لایه های بالائی آب نمی تواند با نیروی گریز از مرکز مقابله و این لایه ها از قوس داخلی به سمت قوس خارجی حرکت می کنند. جهت حرکت البته در لایه های پایینی آب به دلیل کوچک بودن نیروی گریز از مرکز به سمت قوس داخلی است. ترکیب این جریان

خامها از جمله ی سازه های انتقال آب و اجتناب ناپذیر در طراحی شبکه های آبیاری و زهکشی هستند، علاوه بر این خامها به صورت طبیعی در رودخانه ها وجود دارند که هم مکان مناسبی برای آبیاری برای شبکه های آبیاری و زهکشی و هم دارای مشکل فرسایش و رسوب گذاری شدید هستند، از این رو مطالعه شرایط جریان کمک می کند تا این قوسها با دقت بیشتری طراحی و یا سازه های کنترل فرسایش اقتصادی طراحی گردد. ورود جریان به انحناء رودخانه

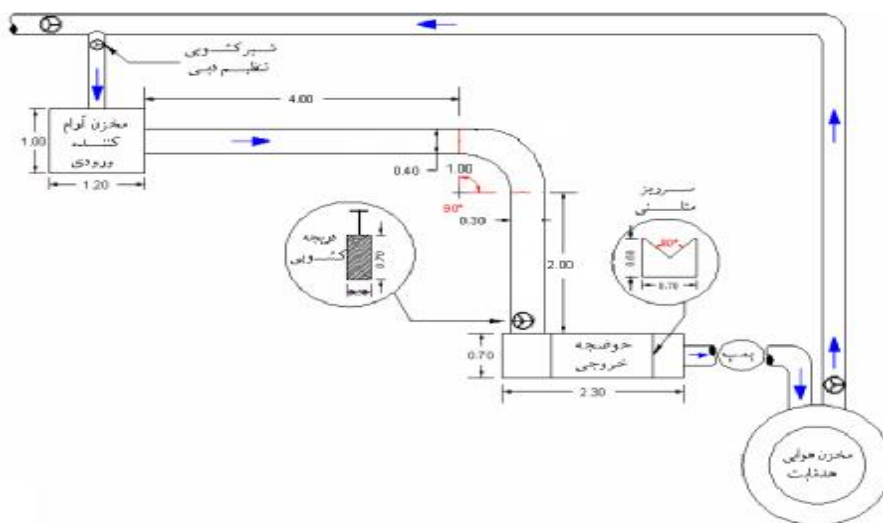
قدسیان و همکاران (1387) به بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در یک خم 90 درجه پرداختند، آزمایش‌ها در یک فلوم مستطیل شکل، با انحنای نسبی (R/B) برابر 3 انجام شد و به این نتیجه رسیدند که محدوده سرعت‌های زیاد در ابتدای خم تا زاویه 60 درجه قوس در قسمت دیواره داخلی فلوم می‌باشد و از 60 درجه به بعد به طرف میانه فلوم منحرف می‌شود، و بیشترین مقدار تنش برشی کف در موقعیت 40 تا 50 درجه نزدیک دیواره داخلی فلوم اتفاق می‌افتد.

به منظور بررسی الگوی جریان در قوس‌های تند، با نسبت شعاع قوس به عرض برابر و یا کوچکتر از 2، که چندان مورد توجه محققین قرار نگرفته است، این تحقیق آزمایشگاهی انجام پذیرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک کانال خمیده با مقطع مستطیلی شکل با نسبت شعاع انحناء خط مرکزی به عرض برابر 2 و مقطع عرضی مستطیلی با زاویه مرکزی 90 درجه، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است. عرض کانال 40 سانتی‌متر، شعاع داخلی 60 سانتی‌متر و شعاع خارجی 100 سانتی‌متر می‌باشد. طول راستای مستقیم کانال در بالادست و پایین‌دست به ترتیب 4 و 2 متر می‌باشد و در انتها دارای حوضچه رسوبگیر و سرریز مثلثی اندازه‌گیری دبی می‌باشد (شکل 1).

عرضی و جریان طولی اصلی رودخانه باعث تشکیل جریان مارپیچی (جریان حلزونی) می‌شود که عامل اصلی فرسایش در قوس بیرونی و حمل رسوبات بستر به سمت قوس داخلی و رسوبگذاری در این ناحیه می‌باشد (ساسانی و همکاران 1384). شاید اولین تحقیق در این مورد توسط روزوسکی (1961) انجام شده است. او ابتدا جریان در قوس رودخانه را به صورت ریاضی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و سپس نتایج را با نتایج مدل فیزیکی با قوس 180 درجه و طول 6 متر به صورتی که قوس متصل به دو بازه مستقیم بالادست و پایین‌دست باشد، مقایسه نمود. آزمایش‌های فیزیکی او شامل توزیع سرعت و توزیع تنش بودند. هرچند محققین در آن زمان اعتقاد داشتند که حداکثر تنش برشی در تیزترین محل خم می‌باشد ولی روزوسکی (1961) بر اساس مشاهدات صحرایی ملاحظه کرد که حداکثر فرسایش در دیواره خارجی، در موقعیت حداکثر انحناء نیست بلکه در پایین‌دست آن، حدود $1/5$ برابر عرض آبراهه می‌باشد. انور (1986) با استفاده از سرعت سنج‌های سه بعدی، سرعت را در قوس رودخانه‌های کوچک در انگلیس با شعاع داخلی 19 متر اندازه‌گیری کرد. هدف او از این آزمایش‌ها بدست آوردن ساختار آشفتگی و تنش‌های برشی و نرمال و توزیع سرعت‌های طولی و عرضی در قوس رودخانه‌ها بوده است، ایشان به این نتیجه رسید که الگوی سرعت در ورودی قوس به شعاع قوس بستگی ندارد ولی در خروجی اثرات الگوی جریان مربوط به قوس، باقی می‌ماند (تائبی و همکاران 1388).



شکل ۱- پلان فلوم و تجهیزات آن

3 مشخصات فلوم و سرعت سنج را نشان می‌دهند. بر اساس روابط ارائه شده، محاسبه هر یک از عوامل مورد تحلیل جریان مانند تنش برشی، قدرت جریان ثانویه و خطوط جریان، همچنین ترسیم نمودارهای بیانگر این پارامترها مانند پروفیل‌های سرعت مستلزم در اختیار داشتن مؤلفه‌هایی از سرعت در هر نقطه و یا متوسط-گیری از سرعت‌ها در هر یک از جهات و یا در هر یک از صفحات می‌باشد.

برای به دست آوردن تنش برشی در قوس از رابطه کوپر و ورو گندهیل¹ بصورت زیر استفاده شده است (کاسم 2002، مولس 1995 و نایت 2007):

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g}{c^2} \bar{v} \sqrt{u^2 + \bar{v}^2} \quad [1]$$

$$t_{by} = \frac{r g}{c^2} \bar{v} \sqrt{u^2 + \bar{v}^2} \quad [2]$$

که به ترتیب تنش برشی در جهت طولی (رابطه 1) و عرضی (رابطه 2) می‌باشند، در روابط بالا r جرم مخصوص سیال و g شتاب ثقل می‌باشد. برای

آزمایش‌ها در سه دبی 15، 25 و 35 لیتر بر ثانیه و با عمق ثابت 17 سانتی‌متر (در مسیر مستقیم کانال 0/5 متر بعد از قوس) بترتیب با اعداد فرود 0/28، 0/17 و 0/4 انجام گرفت. در هر آزمایش با توجه به الگوی جریان در مجاری باز بر مبنای عواملی مانند توزیع بردارهای سرعت و پروفیل‌های سرعت سه بعدی، توزیع تنش برشی در کف و دیواره‌ها، ترسیم خطوط جریان در نزدیکی سطح آب و کف و قدرت جریان ثانویه بررسی گردید. محاسبه هر یک از این عوامل مستلزم در اختیار داشتن مقادیر سرعت در نقاط مختلف ناحیه جریان مورد بررسی است. از این رو در این تحقیق، شبکه مش‌بندی جریان طوری لحاظ شد که طول آن از صفر تا نود درجه قوس در سی نقطه با فواصل 3 درجه، عرض آن منطبق بر عرض سطح آب با فواصل تقریبی 3/5 سانتی‌متری در 12 نقطه و ارتفاع شبکه نیز در 4 نقطه بترتیب 3، 7، 11 و 15 سانتی‌متری از کف در راستای عمق جریان باشد و در هر نقطه از این شبکه 4×12×60 سرعت‌های سه بعدی جریان با استفاده از سرعت‌سنج JFE با فرکانس 20 هرتز اندازه‌گیری شد. زمان نمونه‌برداری برای هر نقطه بسته به موقعیت آن نقطه 10 تا 50 ثانیه بوده است. شکل 2 و

¹cooper

نتایج و بحث

توزیع عرضی سرعت طولی

بردار سرعت طولی (بردارهای عمود بر مقطع جریان در هر موقعیت قوس) با استفاده از سرعت سنج در یک امتداد اندازه گیری شده و عینا در نرم افزار وارد شده‌اند که توزیع سرعت را بصورت زیر به دست می‌دهند. شکل 4 توزیع عرضی سرعت طولی در عمق 14cm (نزدیک کف) و عمق 2cm (نزدیک سطح آب) برای سه عدد فرود را نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج در شکل نشان می‌دهد، نزدیک کف در قوس سرعت طولی جریان خیلی کم تحت تاثیر قوس قرار می‌گیرد و توزیع سرعت تقریبا حالت یکنواختی دارد، ولی نزدیک سطح آب توزیع سرعت بیشتر تحت تاثیر قوس قرار می‌گیرد و در نیمه دوم قوس سرعت حداقل نزدیک دیواره داخلی قوس اتفاق افتاده که با حرکت بسوی انتهای قوس ناحیه کمینه سرعت شروع به گسترش می‌کند و در پایین دست نیز این روند وجود دارد. با توجه به شکل در عدد فرود 0/17، نزدیک کف در مقطع 70 درجه نزدیک دیواره داخلی قوس سرعت مینیم اتفاق می‌افتد و بطرف پایین دست این ناحیه توسعه می‌یابد که در واقع همان ناحیه جداشدگی جریان در نیمه دوم قوس می‌باشد. در عدد فرود 0/28 ناحیه جداشدگی جریان از موقعیت 60 درجه بطرف پایین دست قوس اتفاق می‌افتد و در عدد فرود 0/4 ناحیه جداشدگی جریان از دیوار داخلی قوس از موقعیت 50 درجه قوس به بعد اتفاق افتاده است که نتیجه گرفته می‌شود با افزایش عدد فرود، ناحیه جداشدگی جریان در فاصله کوتاه‌تری نسبت به ابتدای قوس نزدیک دیوار داخلی اتفاق افتاده که علت این امر این است که با افزایش عدد فرود، سرعت طولی و نیروی گریز از مرکز بیشتر شده و در نهایت افزایش نیروی گریز از مرکز باعث می‌شود که خطوط جریان زودتر از دیواره داخلی قوس جدا شده و ناحیه جداشدگی جریان اتفاق بیافتد و همچنین با افزایش عمق در نیمه دوم قوس و نزدیک دیواره داخلی، ناحیه

محاسبه تنش برشی کل بستر از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$t_b = \sqrt{t_{bx}^2 + t_{by}^2} \quad [3]$$

در معادلات بالا \bar{u} و \bar{v} به ترتیب متوسط عمقی

سرعت در جهت طولی و عمقی و c ضریب شزی می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$c = \frac{R^{1/6}}{n} \quad [4]$$

که R شعاع هیدرولیکی و n ضریب زبری معادل

می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$n = 0.048 D_{50}^{1/6} \quad [5]$$

با توجه به شرایط فلوم مورد استفاده، اندازه

متوسط زبری در رابطه 5 معادل 0/5 میلی‌متر در نظر گرفته شده است. به منظور محاسبه قدرت جریان ثانویه در هر مقطع عرضی نیز، با توجه به اینکه قدرت جریان ثانویه برابر با نسبت انرژی جنبشی جریان جانبی به انرژی جنبشی کل جریان در هر مقطع است بنابراین قدرت جریان ثانویه در هر مقطع از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$\frac{v_{xy}^2}{v^2} \times 100 = \frac{v_{xy}^2}{v^2} \times 100 \quad [6]$$

در رابطه بالا v_{xy} برآیند سرعت در جهت های

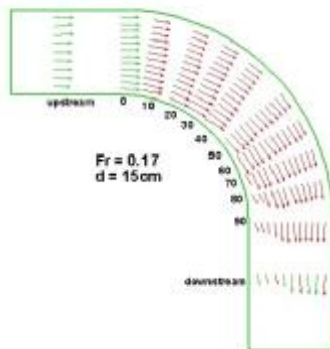
طولی و عرضی و v برآیند سرعت در سه جهت می‌باشد. در نهایت پس از برداشت داده‌های هر آزمایش، محاسبات لازم با استفاده از نرم‌افزار اکسل¹ انجام شد و در ترسیم اشکال پروفیل‌های سرعت، تنش برشی و خطوط جریان ثانویه نیز نرم‌افزار تک پلات² مورد استفاده قرار گرفت.

¹ excel

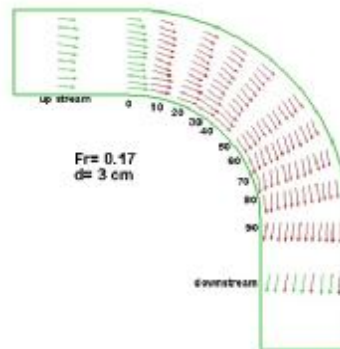
² Tecplot

ناحیه جداشدگی جریان نزدیک دیوار داخلی و در نیمه دوم قوس، به شکل مخروط اتفاق می افتد.

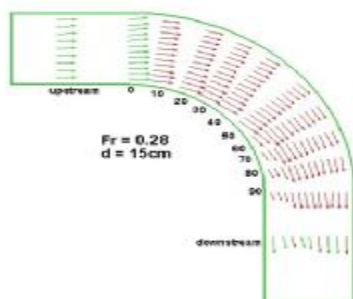
جداشدگی جریان گسترش می یابد و نزدیک کف جداشدگی جریان به علت غلبه کردن نیروی گرادیان فشار بر نیروی گریز از مرکز، اتفاق نمی افتد. بنابراین



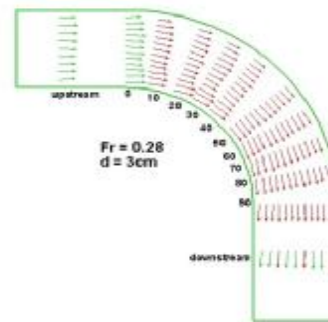
3-ب- توزیع سرعت در عدد فرود 0/17 و عمق 2 سانتی متر



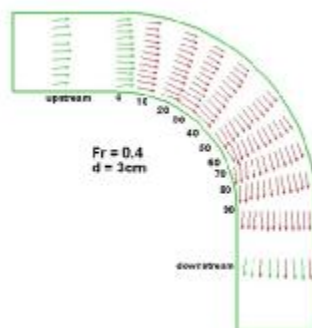
3- الف- توزیع سرعت در عدد فرود 0/17 و عمق 14 سانتی متر



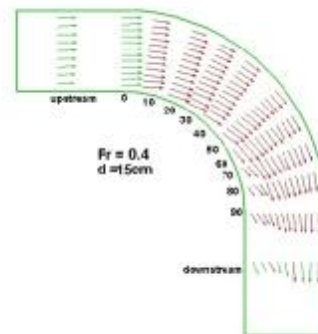
3- د- توزیع سرعت در عدد فرود 0/28 و عمق 2 سانتی متر



3- ج- توزیع سرعت در عدد فرود 0/28 و عمق 14 سانتی متر



3- ه- توزیع سرعت در عدد فرود 0/4 و عمق 2 سانتی متر



3- و- توزیع سرعت در عدد فرود 0/4 و عمق 14 سانتی متر

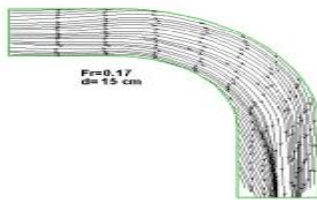
شکل 3- توزیع عرضی سرعت طولی جریان در سه عدد فرود در دو لایه 3 و 15 سانتی متر از کف

خطوط جریان طولی

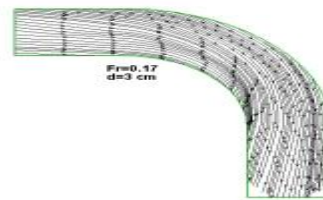
با توجه به اینکه خطوط جریان در سیال در هر نقطه مماس بر بردار سرعت در آن نقطه است بنابراین خطوط جریان با استفاده از بردارهای سرعت در محدوده قوس قابل ترسیم است. شکل 4 خطوط جریان طولی نزدیک سطح آب و نزدیک کف را برای سه عدد فرود نشان می‌دهد.

نزدیک کف (عمق 14cm) خطوط جریان بطرف دیوار داخلی می‌باشد که با افزایش عدد فرود به علت

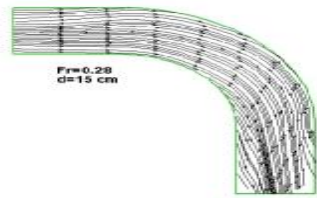
افزایش نیروی گریز از مرکز از انحناء خطوط جریان بطرف دیوار داخلی قوس کاسته شده (مقایسه شکل های 4-الف و 4-ج و 4-د) و نزدیک سطح آب (عمق 2cm) خطوط بطرف دیوار خارجی قوس بوده که با افزایش عدد فرود به علت افزایش نیروی گریز از مرکز انحنا خطوط بیشتر می‌گردد. (مقایسه شکل های 4-الف و 4-ج و 4-و).



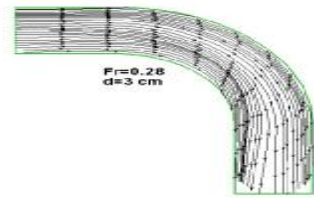
4-ب - خطوط جریان طولی در عدد فرود 0/17 و عمق 2 سانتی‌متر



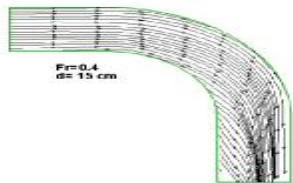
4-الف - خطوط جریان طولی در عدد فرود 0/17 و عمق 14 سانتی‌متر



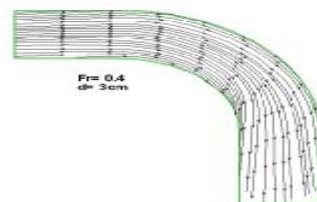
4-د - خطوط جریان طولی در عدد فرود 0/28 و عمق 2 سانتی‌متر



4-ج - خطوط جریان طولی در عدد فرود 0/28 و عمق 14 سانتی‌متر



4-ه - خطوط جریان طولی در عدد فرود 0/4 و عمق 2 سانتی‌متر



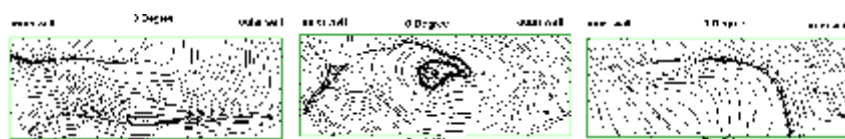
4-و - خطوط جریان طولی در عدد فرود 0/4 و عمق 14 سانتی‌متر

شکل 4 - خطوط جریان طولی در سه عدد فرود در دو لایه 3 و 15 سانتی متر از کف

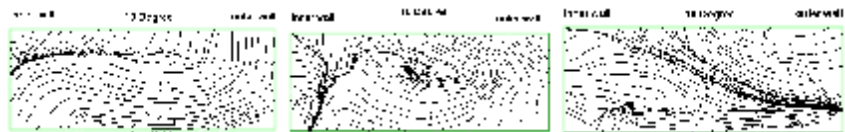
خطوط جریان ثانویه

شکل 5 خطوط جریان ثانویه در سه عدد فرود در مقاطع عرضی صفر، ده، بیست تا نود درجه را نشان می‌دهد، جریان ثانویه در قوس به علت اندرکنش نیروی گریز از مرکز و گرادیان فشار به وجود می‌آید. در موقعیت صفر درجه قوس در عدد فرود 0/17، جریان یکسویه به سوی دیوار داخلی و در عدد فرود 0/28، سلول چرخشی تشکیل شده و سرانجام در عدد فرود

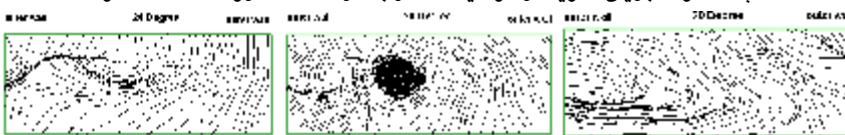
0/4، جریان ثانویه غالب به سمت کف قوس می‌باشد. در سه عدد فرود سلول چرخشی در میانه قوس تشکیل می‌شود و به تدریج سلول چرخشی به دیوار داخلی قوس کشیده شده به نحوی که در موقعیت 90 درجه قوس، سلول چرخشی کاملاً به دیوار داخلی قوس نزدیک می‌شود (شکل 5 - ی).



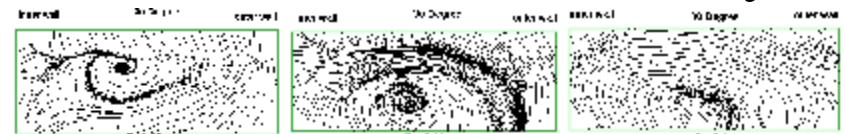
5- الف - خطوط جریان ثانویه در موقعیت صفر درجه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4



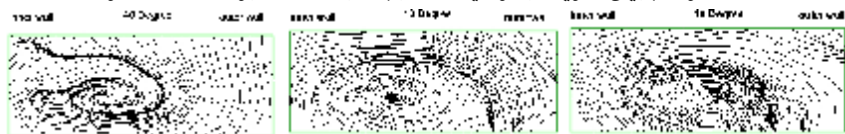
5- ب - خطوط جریان ثانویه در موقعیت 10 درجه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4



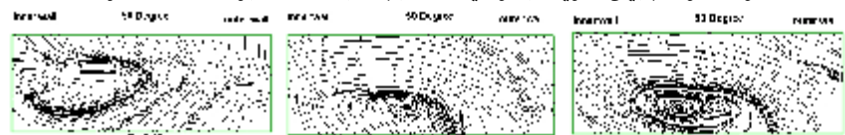
5- ج - خطوط جریان ثانویه در موقعیت 20 درجه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4



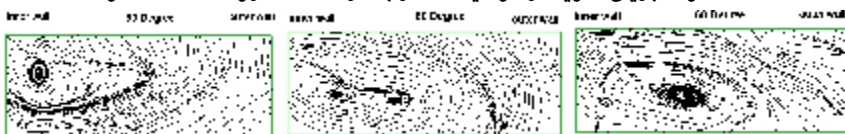
5- د - خطوط جریان ثانویه در موقعیت 30 درجه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4



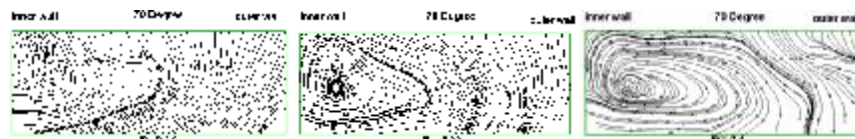
5- و - خطوط جریان ثانویه در موقعیت 40 درجه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4



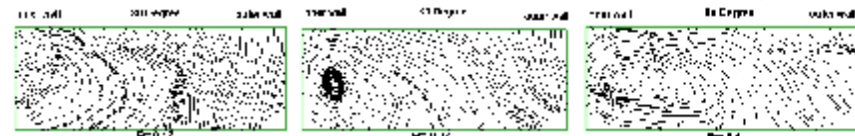
5- ه - خطوط جریان ثانویه در موقعیت 50 درجه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4



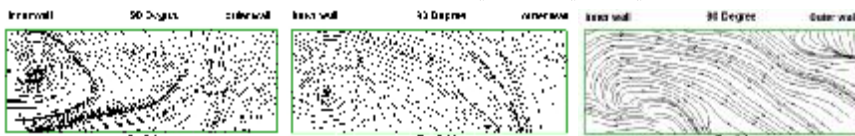
5- ت - خطوط جریان ثانویه در موقعیت 60 درجه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4



5- پ- خطوط جریان ثانویه در موقعیت 70 درجه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4



5- ث- خطوط جریان ثانویه در موقعیت 80 درجه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4



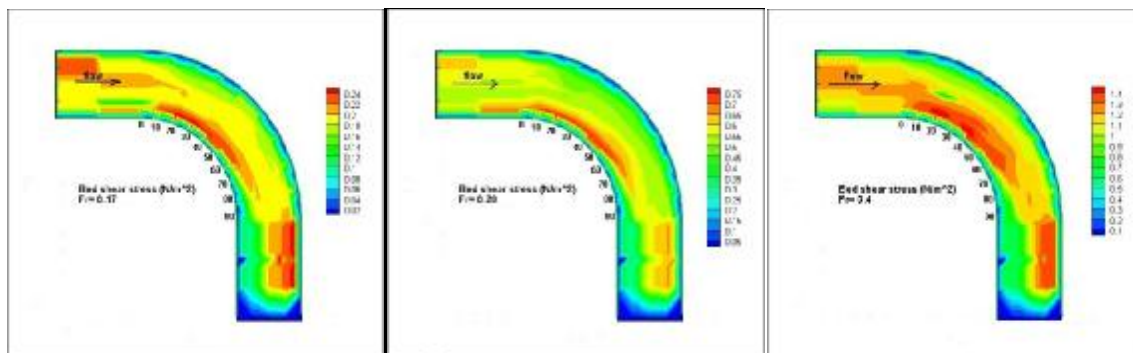
5- ی- خطوط جریان ثانویه در موقعیت 90 درجه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4

شکل 5- خطوط جریان ثانویه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4 در مقاطع عرضی مختلف در طول قوس

مورد آزمایش دو ناحیه با تنش قوی مشخص گردیده که این ناحیه پر تنش از موقعیت 10 تا 70 درجه نزدیک دیوار داخلی و از موقعیت 90 درجه تا انتهای میدان داده برداری نزدیک دیوار خارجی قوس می‌باشد.

توزیع تنش برشی کف

تغییرات تنش برشی در قوس نسبت به مسیر مستقیم، عامل اصلی فرسایش و رسوبگذاری است. شکل 6 توزیع تنش برشی کف در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4 در طول قوس را نشان می‌دهد، طیف قرمز رنگ ناحیه پر تنش در قوس را نشان می‌دهد، در قوس



شکل 6- توزیع تنش برشی کف در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4 در طول قوس

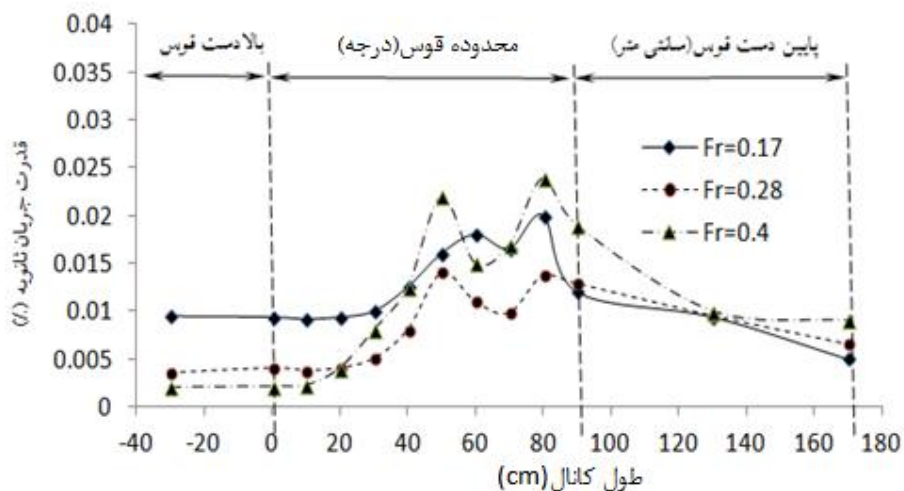
حالت کلی با ورود جریان به قوس قدرت جریان ثانویه در طول قوس دارای دو مقدار ماکزیم یکی در رأس قوس و دیگری در انتهای قوس می‌باشد با توجه به اینکه قدرت جریان ثانویه با نسبت مربعات مولفه‌های جریان جانبی به جریان اصلی متناسب است، بنابراین از

روند تغییرات قدرت جریان ثانویه در طول قوس

شکل 7 روند تغییرات قدرت جریان ثانویه در طول قوس را نشان می‌دهد. یکی از عوامل مهم بعد از تنش برشی، که باعث تشدید فرسایش در قوس ها می‌گردد قدرت جریان ثانویه (قدرت گردابه) می‌باشد در

فرسایش در دو موقعیت، رأس قوس و موقعیت 80 درجه (نقاط حداکثر قدرت جریان ثانویه) نسبت به سایر موقعیت‌های قوس بیشتر است. با توجه به اینکه در رأس قوس تنش برشی حداکثر نزدیک دیوار داخلی بوده و در جهت پایداری ذرات بستر عمل می‌کند لذا فرسایش در رأس اتفاق نخواهد افتاد و در موقعیت 80 درجه با توجه به اینکه تنش برشی حداکثر نزدیک دیوار خارجی و در جهت ناپایداری ذرات می‌باشد در صورتی که تنش برشی حداکثر کف بزرگتر از تنش برشی بحرانی باشد انتظار می‌رود که در آنجا فرسایش اتفاق افتد، لذا در قوس‌های 90 درجه تند، حفاظت دیوار ساحلی خارجی و بستر بایستی از موقعیت 80 تا 90 درجه انجام شود.

ابتدا تا رأس قوس خیزآب افزایش یافته که سرانجام سبب افزایش گرادیان هیدرولیکی گردیده و در نتیجه آن سرعت عرضی و قدرت جریان ثانویه افزایش می‌یابد. از رأس قوس تا موقعیت 70 درجه، خیزآب کاهش یافته و سرانجام قدرت جریان ثانویه کاهش می‌یابد و از موقعیت 70 درجه تا 80 درجه قدرت جریان ثانویه روند افزایشی دارد که به علت شروع ناحیه جداسازی جریان از دیوار داخلی و در نتیجه انتقال مومنتم از دیوار داخلی به دیوار خارجی قوس این روند اتفاق می‌افتد، از موقعیت 80 درجه تا انتهای میدان داده برداری (مسیر مستقیم) به علت اینکه گرادیان فشار عرضی و نیروی گریز از مرکز مستهلک می‌شود قدرت جریان ثانویه کاهش می‌یابد. با توجه به توضیحات بالا احتمال



شکل 7- روند تغییرات قدرت جریان ثانویه در سه عدد فرود 0/17، 0/28 و 0/4 در طول قوس

حاضر، موقعیت تنش برشی حداکثر از مقطع 10 تا 70 درجه نزدیک دیوار داخلی می‌باشد. همچنین انور (1986) به این نتیجه رسید که الگوی سرعت در ورودی به شعاع قوس بستگی ندارد ولی در خروجی اثرات الگوی جریان مربوط به قوس باقی می‌ماند (ناجی ابهری و همکاران 1387)، که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. قابل ذکر است که تاکنون روند تغییرات قدرت

از آنجا که انحنای نسبی (نسبت شعاع قوس به عرض کانال) از مهمترین عوامل موثر بر الگوی جریان در قوس‌ها می‌باشد و تاکنون در انحنای نسبی 2 این مطالعات انجام نشده لذا نتایج این تحقیق با سایر نتایج انحنای نسبی قوس‌ها متفاوت می‌باشد. قدسیان و همکاران (1387) روی قوس با انحنای نسبی 3 به این نتیجه رسیدند که تنش برشی حداکثر از ابتدا خم تا موقعیت 60 درجه نزدیک دیوار داخلی و در تحقیق

3- در سه عدد فرود سلول چرخشی در میانه قوس تشکیل می‌شود و به تدریج سلول چرخشی به دیوار داخلی قوس کشیده شده به نحوی که در موقعیت 90 درجه قوس، سلول چرخشی کاملاً به دیوار داخلی قوس نزدیک می‌شود.

4- در قوس مورد آزمایش دو ناحیه با تنش قوی مشخص گردید، که این ناحیه پر تنش از موقعیت 10 تا 70 درجه نزدیک دیوار داخلی و از موقعیت 90 درجه تا انتهای میدان داده برداری نزدیک دیوار خارجی قوس می‌باشد.

5- قدرت جریان ثانویه در طول قوس 90 درجه تند دارای دو نقطه حداکثر یکی در رأس قوس و دیگری در موقعیت 80 درجه می‌باشد و همچنین موقعیت 80 درجه نزدیک دیوار خارجی به عنوان منطقه بحرانی فرسایش پذیر شناسایی گردید.

تشکر و قدردانی

هزینه این تحقیق از محل اعتبارات پژوهانه‌ی نویسنده‌ی دوم انجام شده است که بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز قدردانی می‌شود.

جریان ثانویه در طول قوس‌ها پیش از این بررسی نشده است.

نتیجه گیری کلی

1- در عدد فرود 0/17، نزدیک کف در مقطع 70 درجه نزدیک دیواره داخلی قوس سرعت حداقل اتفاق می‌افتد و بطرف پایین دست این ناحیه توسعه می‌یابد که در واقع همان ناحیه جداسدگی جریان در نیمه دوم قوس می‌باشد در عدد فرود 0/28 ناحیه جداسدگی جریان از موقعیت 60 درجه بطرف پایین دست قوس اتفاق می‌افتد و در عدد فرود 0/4 ناحیه جداسدگی جریان از دیوار داخلی قوس از موقعیت 50 درجه قوس به بعد قرار می‌گیرد.

2- نزدیک کف (عمق 14cm) خطوط جریان طولی بطرف دیوار داخلی بوده که با افزایش عدد فرود به علت افزایش نیروی گریز از مرکز از انحنا خطوط جریان طولی بطرف دیوار داخلی قوس کاسته شده و نزدیک سطح آب (عمق 2cm) انحنا خطوط بطرف دیوار خارجی قوس بوده که با افزایش عدد فرود به علت افزایش نیروی گریز از مرکز، انحنا خطوط بیشتر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- تائی ح، شفاعی بجستان م و کاهه م، 1388. شبیه سازی عددی جریان در قوس 90 درجه با استفاده از مدل CCHE2D. مقالات هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ساسانی ف، افضلی مهر ح و حیدر پور م، 1384. بررسی تاثیر فاکتور تنش برشی بر تغییر مکان های جانبی در طول بازه های قوس دار در یک رودخانه درشت دانه، مقالات پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان .
- قدسیان م، واقفی م و پناه پور ن، 1387. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در قوس 90 درجه، مقالات چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران
- ناجی ابهری م و قدسیان م، 1387. شبیه سازی عددی الگوی جریان در قوس 90 درجه با استفاده از نرم افزار SSIM، چهارمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

- Kassem AA and Chaudhry F, 2002. Numerical modeling of bed evolution in channel bends. *ASCEJHydEng* 128(5):507-514.
- Knight DW, Omran M, Tang X. 2007. Modeling depth-averaged velocity and boundary shear in trapezoidal channels with secondary flows. *J HydEng* 133(1): 39-47.
- Molls Th and Chaudhry H, 1995. Depth-averaged open-channel flow model, *ASCE J HydEng* 121(6) :453-465.
- Prushansky, 233 p. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- Rozovskii I L, 1961. *Flow of Water in Bends of Open Channels*. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR.