

بررسی آزمایشگاهی تأثیر دیوارهای میانی غیرمستغرق در ناحیه جدایی آب در قوس‌های تند کانال‌های باز

علی اکبر اختری^۱ جلیل ابریشمی^۲

(دریافت ۸۷/۱۰/۱۵ پذیرش ۸۸/۵/۲۶)

چکیده

وجود انحنا در مسیر کانال از جمله مسائلی است که همواره در سیستم‌های انتقال آب اتفاق می‌افتد. در این مقاله به بررسی یکی از آثار سوء وجود انحنا در کانال که موجب پدیده جدایی آب از دیوار کناری می‌شود، پرداخته شد. در این تحقیق ابتدا با بررسی مطالعات پیشین، فلوم آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد و در آن هندسه انحنا، به صورت تند انتخاب گردید. سپس با انجام آزمایش‌های فراوان، صحت سنجی مدل آزمایشگاهی و کنترل همگنی داده‌ها و عدم وجود خطاهای سیستماتیک مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین پس از ساخت مدل، تأثیر انحنا در الگوی جریان بعد از قوس نیز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای اولین بار، تأثیر دیوارهای غیر مستغرق میانی در الگوی جریان دخالت داده شد. تحقیقات آزمایشگاهی برای سه انحنای تند که در آن نسبت شعاع انحنا به عرض کانال ۱/۵ و زاویه انحنا ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه بود، انجام شد. نتایج تحقیقات نشان داد که در تمام حالات چه با حضور دیوارهای میانی و چه بدون تأثیر دیوارهای میانی، بیشترین اثر جداسازی جریان در دیوار بلافاصله بعد از قوس بود. همچنین در تمامی حالات در فاصله‌ای به اندازه عرض کانال بعد از قوس، جدایی جریان مشاهده گردید. در صورت وجود دیوارهای غیر مستغرق میانی و جداسازی جریان، پدیده جدایی تخفیف یافته و به خصوص در قوس با انحنای ۹۰ درجه میزان کاهش آثار جدایی قابل ملاحظه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: کانال‌های باز، قوس تند، دیوارهای غیر مستغرق، جدایی جریان، ناحیه جدایی.

Effect of Non Submerged Vanes on Separation Zone at Strongly-curved Channel Bends, a Laboratory Scale Study

Ali Akbar Akhtari¹

Jalil Abrishami²

(Received Jan. 5, 2009 Accepted Aug. 17, 2009)

Abstract

Bends along open channels always pose difficulties for water transfer systems. One undesirable effect of bends in such channels, i.e. separation of water from inner banks, was studied. For the purposes of this study, the literature on the subject was first reviewed, and a strongly-curved open channel was designed and constructed on the laboratory scale. Several tests were performed to evaluate the accuracy of the lab model, data homogeneity, and systematic errors. The model was then calibrated and the influence of curvature on flow pattern past the curve was investigated. Also, for the first time, the influence of separation walls on flow pattern was investigated. Experimental results on three strongly-curved open channels with a curvature radius to channel width ratio of 1.5 and curvature angles of 30°, 60°, and 90° showed that, in all the cases studied, the effect of flow separation could be observed immediately after the curve. In addition, the greatest effect of flow separation was seen at a distance equal to channel width from the bend end. In the presence of middle walls and flow separation, the effect of water separation reduced at the bend, especially for a curvature of 90°.

Keywords: Open Channels, Strongly-curved Channel, Separation Wall, Flow Separation, Separation Zone.

1. Assist. Prof. of Civil Eng., Dept. of Eng., Razi University, Kermanshah (Corresponding Author) 09155021129 akhtari63@yahoo.com

2. Assoc. Prof. of Civil Eng., Dept. of Eng., Ferdowsi University, Mashhad

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه (نویسنده مسئول) akhtari63@yahoo.com ۰۹۱۵۵۰۲۱۱۲۹

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

در سال ۱۹۹۸ جیان و همکاران^۶ بر روی دو قوس ۲۷۰ درجه با مقطع دوزنقه یک طرفه و قوس پیچانرودی^۷ متشکل از دو خم ۹۰ درجه با عرض ۲/۳۴ متر و شعاع مرکزی ۸/۵۳ متر و طول مستقیم ۴/۲۷ متر بین دو قوس، تحقیقاتی را انجام دادند. در این تحقیق، عمق جریان ۱۱/۵ سانتی متر و سرعت در مقطع ورودی ۰/۳۶۶ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. تحقیق مذکور به بررسی الگوی جریان و جریان ثانویه در قوسها پرداخت. نتایج تحقیق نشان داد که در قوس ۲۷۰ درجه، جریان ثانویه با شدت بیشتری نسبت به قوس مئاندری به وجود می آید [۶].

بلانکارت و همکاران^۸ در سال ۲۰۰۱ بر روی یک خم ۱۲۰ درجه با عرض ۰/۴ متر و شعاع مرکزی ۲ متر تحقیق نمودند. در این تحقیق اگر چه کف کانال ثابت بود اما با قرار دادن ماسه با قطر متوسط ۲/۱ میلی متر امکان آزمایش با بستر متحرک فراهم شد. دبی در این آزمایش ۱۷ لیتر در ثانیه و سرعت جریان ورودی ۰/۳۸ متر در ثانیه بود. طول کانال مستقیم قبل از خم، ۲ متر در نظر گرفته شد. آنها تغییرات بستر کف کانال را در جریان درون خمها بررسی نمودند [۷].

از پیشگامان مطالعه کننده بر روی صفحات مستغرق ادگار^۹ و کندی^{۱۰} بوده اند که در سال ۱۹۸۳ بر روی تاثیر صفحات مستغرق یا آبشکن در قوس رودخانهها تحقیقات فراوانی را ارائه نمودند. ادگار و لیبی^{۱۱} در سال ۱۹۸۴ کارایی این صفحات را در کاهش عمق و سرعت جریان در نزدیکی دیوارهای خارجی یک کانال منحنی، مورد مطالعه قرار دادند. ایشان روشی را به منظور طراحی صفحات مستغرق بر اساس این مدل آزمایشگاهی ارائه نمودند [۸]. کاربرد عملی این مطالعات در رودخانه نیشنابوتنا^{۱۲} شرقی در ایالت آیوا^{۱۳} به کار گرفته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق میدانی و ارزیابی عملکرد این صفحات توسط ادگار و مسکنی^{۱۴} در سال ۱۹۸۷ ارائه گردید [۹]. همچنین ادگار و ونگ^{۱۵} در سال ۱۹۹۱ آخرین نتایج تحقیقات به دست آمده در خصوص صفحات مستغرق را ارائه نمودند [۱۰].

در ایران نیز فروغی در سال ۱۳۷۱، سلیمانی اسبویی در سال ۱۳۷۵، رحمانیان در سال ۱۳۷۸ و شاهرخی و همکاران در سال ۱۳۸۵ تحقیقات وسیعی را در خصوص کاربرد صفحات مستغرق ارائه نمودند [۱۱].

به منظور تحقیق بر روی تاثیر دیوارهای میانی تقسیم کننده جریان در الگوی جریان در قوس و کانال مستقیم بعد از قوس، مدل آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه فردوسی مشهد ساخته شد. این مدل آزمایشگاهی با توجه به نتایج آزمایشگاهی تحقیقات گذشته طراحی و ساخته شد.

تامسون^۱ در سال ۱۸۷۶ اولین تحقیق در خصوص مؤلفه های جریان در انحنای را ارائه داد. او حرکت مارپیچی جریان را در خم کانال با اضافه کردن نوعی رنگدانه در آب، مشاهده نمود. نتایج تحقیق نشان داد که جریان مارپیچی به واسطه وجود جریان ثانویه تشکیل می شود [۱].

در سال ۱۹۶۱ رزوفسکی^۲ بر روی کانال مربع مستطیل با بسترهای کاملاً صاف و کاملاً زیر و با وجود یک خم ۱۸۰ درجه تحقیق نمود. عرض این کانال ۸۰ سانتی متر و شعاع محور کانال در خم نیز ۸۰ سانتی متر فرض شد. دبی جریان در این آزمایشها، ۱۲/۳ لیتر در ثانیه و عمق جریان ۵/۸ سانتی متر انتخاب شده بود. به علاوه تحقیقات وسیعی بر روی کانالهای دوزنقه ای توسط این محقق انجام گردید [۲].

دوریند^۳ در سالهای ۱۹۷۹ بر روی یک قوس ۱۸۰ درجه دارای مقطع مستطیلی به عرض ۱/۷ متر و شعاع مرکزی ۴/۲۵ متر تحقیق نمود. دبی آزمایش ۱۹۰ لیتر در ثانیه و عمق جریان در کانال پایین دست ۰/۱۸ متر بوده است [۳]. او در سال ۱۹۸۳ بر روی مدل میدانی دیگر با زاویه مرکزی ۹۰ درجه و دبی ۶۰۰ لیتر بر ثانیه و عرض ۶ متر تحقیق نمود. در آزمایش مذکور، عمق جریان ۲۵ سانتی متر و شعاع انحنای ۵۰ متر در نظر گرفته شد. این محقق با تکنیک سرعت متوسط عمقی^۴، الگوی جریان در قوسها را مورد ارزیابی قرار داد [۴].

در سال ۱۹۸۵، استفلر و همکاران^۵ بر روی کانال قوس دار با زاویه مرکزی ۲۷۰ درجه مطالعه نمودند. این کانال دارای مقطع مربع مستطیل با عرض ۱/۰۷ و ارتفاع ۰/۲ متر بود و شعاع مرکزی قوس ۳/۶۶ متر در نظر گرفته شد. بررسی جریان برای دو حالت با عمق ۶/۱ سانتی متر و عمق ۸/۵ سانتی متر صورت گرفت. در این مدل آزمایشگاهی، شیب کف کانال ۰/۰۰۸۳ انتخاب شد. نتایج این تحقیق آزمایشگاهی، روابط نظری را به منظور تعیین تغییرات سطح آب در داخل قوسهای ملایم و جریان زیر بحرانی ارائه داد [۵].

6 Jian et al.
7 Meander
8 Blanckaert et al.
9 Odgaard
10 Kennedy
11 Lee
12 Nishnabotna
13 Iowa
14 Mosconi
15 Wang

1 Thomson
2 Rozovski
3 De Vriend
4 Depth Average Velocity
5 Steffler et al.



شکل ۱- نمایی از فلوم با خم ۶۰ درجه

بررسی تاثیر دیوارهای غیر مستغرق میانی در افزایش سرعت کاهش یافته به واسطه پدیده جدایی جریان می باشد. در این بررسی آزمایشگاهی، از سه نوع قوس تند با زاویه مرکزی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه با حداقل چهار دبی بین ۵ تا ۳۰ لیتر بر ثانیه استفاده شده است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مشخصات فلوم

با توجه به بررسی به عمل آمده از مدل های آزمایشگاهی سایر محققان، فلوم آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد (شکل های ۱ و ۲). مقطع فلوم مربعی به ابعاد 40.3×40.3 میلی متر بوده و دیوارها و کف از جنس پلکسی گلاس^۳ شفاف انتخاب شد. در ابتدای ورودی کانال، مخزنی که وظیفه آن هدایت آبهای پمپاژ شده از مخزن اصلی به ورودی کانال است و موجب همگنی جریان در کانال می گردد، ساخته شد.

در محل اتصال لوله دهش پمپاژ به مخزن ورودی، از صفحات فشار شکن مانع جریان و ورقهای فلزی مشبک و توری آلومینیومی و پنج لایه توری پلاستیکی برای همگنی جریان ورودی و کاهش فشار ناشی از سرعت جریان استفاده شد. همچنین از یک تبدیل ورودی بیضوی مطابق روابط USBR جهت اتصال مخزن به کانال استفاده شد تا وضعیت توسعه یافتگی جریان در طول کانال، بهبود یافته و عدم تاثیر شرایط ورودی بر روی خم فراهم گردد [۱۳].

در این تحقیق با توجه به سوابق مطالعاتی اشاره شده، نسبت به ساخت فلوم آزمایشگاهی اقدام گردید. بنا به تحقیقات لسچزینر^۱ و رودی^۲ در سال ۱۹۷۸، در صورتی که نسبت شعاع مرکزی قوس به عرض کانال کمتر از ۳ باشد، قوس کانال را تند و در غیر این صورت قوس را ملایم گویند [۱۲]. به دلیل آنکه بررسی الگوی جریان در قوس های تند هدف مطالعه بوده است نسبت شعاع مرکزی قوس به عرض کانال در این بررسی، برابر $1/5$ انتخاب گردید.

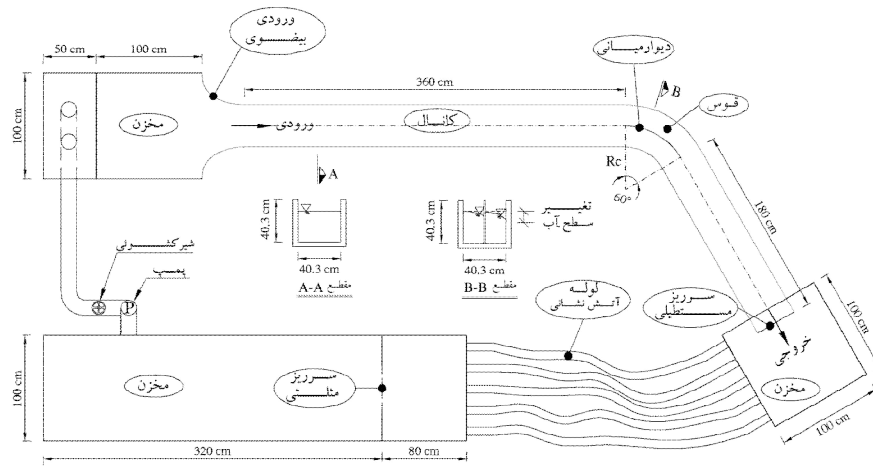
آنچه که این مطالعه را از سایر پژوهشها در این زمینه متمایز می کند، انجام تحقیق بر روی کاربرد صفحات غیر مستغرق به صورت دیوار میانی است که سابقه قبلی در کاربرد آنها در کانال های انتقال آب مشاهده نشده است. همچنین در فلوم حاضر، بررسی جریان در قوس های تند با رژیم جریان زیر بحرانی با عدد فرود بالا فراهم گردید که در تحقیقات قبلی سابقه کمتری دارد. از ویژگی های دیگر این تحقیق، مقایسه قوس ها با زوایای انحراف مختلف بود.

در این تحقیق ابتدا مشخصات و ویژگی های فلوم آزمایشگاهی تشریح شد و سپس به بررسی پدیده جدایی آب در کانال های باز پرداخته شد. در اثر وجود قوس تند در مسیر یک کانال، ناحیه جدایی آب ایجاد شد. یکی از اهداف این تحقیق، بررسی محل شروع پدیده جدایی جریان خواهد بود. از دیگر اهداف این مطالعه،

¹ Leschziner

² Rodi

³ Plexiglass



شکل ۲- پلان فلوم آزمایشی با خم ۶۰ درجه

سرعت سنج در جهت عرضی با دقت یک میلی متر و در جهت عمق با دقت ۰/۱ میلی متر در موقعیت خود قرار گرفت و امکان اندازه گیری عمق نیز با دقت ۰/۱ میلی متر فراهم شد. سرعت طولی جریان به وسیله سرعت سنجهای پروانه ای^۱ اندازه گیری می شد که دقت آنها بنا به کاتالوگ شرکت سازنده به شرح زیر است [۱۴]

$$2/5 < V < 7/5 \text{ cm/s} \rightarrow \text{Error} = \%5$$

$$7/5 < V < 15 \text{ cm/s} \rightarrow \text{Error} = \%2$$

$$15 < V < 150 \text{ cm/s} \rightarrow \text{Error} = \%1$$

در شکل ۳، موقعیت سرعت سنج پروانه ای به همراه دستگاه نمایشگر در حالت وجود یک دیوار میانی در قوس ۶۰ درجه نمایش داده شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- رابطه دبی اشل سرریز مثلثی

در این مدل آزمایشگاهی، از سرریز مثلثی با زاویه راس ۹۰ درجه به منظور تعیین دبی جریان استفاده شد. معادله دبی اشل این سرریز به صورت رابطه ۱ است [۱۵]

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \times 0.578 (H_d + 0.00082)^{\frac{5}{2}} \quad (1)$$

که در این رابطه

H_d ارتفاع آب در قبل از سرریز مثلثی بر حسب متر و Q دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه است.

با هیدرومتری یک مقطع از کانال به کمک سرعت سنجی که در مؤسسه تحقیقات آب تهران، کالیبره شده بود و تساوی دبی محاسبه

پس از اتصال تبدیل ورودی به کانال، قسمتی مستقیم به طول ۳/۶ متر تا شروع خم در نظر گرفته شد تا طول توسعه یافتگی در قبل از قوس به وجود آید. سپس سه خم با زوایای مرکزی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه به طور متناوب به کانال نصب گردید. بلافاصله پس از قوس، کانال مستقیمی به طول ۱/۸ متر نصب شد و در انتهای آن یک سرریز مستطیلی لبه تیز برای تنظیم عمق جریان در کانال به کار گرفته شد.

آب پس از عبور از سرریز انتهایی، به مخزنی جمع کننده به ابعاد $1 \times 1 \times 1/25$ متر می رسد. فلوم باید در چهار حالت یعنی کانال کاملاً مستقیم و کانالهای با زاویه مرکزی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه مورد آزمایش قرار می گرفت و در هر حالت لازم بود موقعیت مخزن انتهایی تغییر یابد، لذا مخزن جمع کننده انتهایی به مخزن اصلی توسط ۱۱ عدد لوله آتش نشانی قابل حمل و نقل و انعطاف پذیر متصل شد.

برای اندازه گیری دبی از یک سرریز مثلثی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه استفاده شد. قبل از هر گونه انجام آزمایش، با هیدرومتری کانال مستقیم قبل از نصب قوس، سرریز مذکور واسنجی شد. این سرریز در مخزن اصلی به ابعاد $1 \times 1 \times 4$ متر قرار داده شد. ۸۰ سانتی متر از طول مخزن اصلی برای تعبیه سرریز و $3/2$ متر باقیمانده به عنوان مخزن ذخیره ای که حجم آب درون آن باید بیشتر از حجم آب در گردش باشد، در نظر گرفته شد. پس از مخزن اصلی، از یک پمپ گریز از مرکز استفاده شد تا آب از مخزن ذخیره به ابتدای فلوم پمپاژ گردد. توسط یک شیر کشویی زبانه لاستیکی با قطر ۱۵۰ میلی متر که پس از پمپ نصب گردید، دبی جریان تنظیم شد.

¹ Propeller

سانتی متر امتداد یافتگی در ابتدا و انتهای قوس و دو دیوار متقارن در قوس، بررسی و نتایج آزمایشگاهی گردآوری شد.

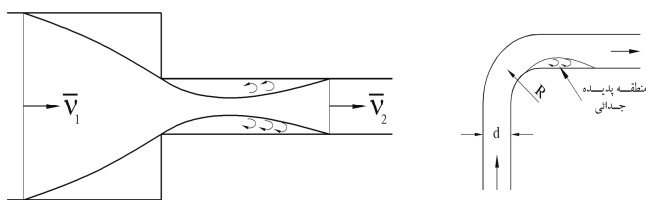
به منظور ساده سازی و بررسی دو بعدی الگوی سرعت، به جای کمیت های سه بعدی، از سرعت متوسط عمقی استفاده شد. در صورتی که توزیع عرضی سرعت در لایه های مختلف مشخص باشد و از آنها در امتداد عمق متوسط گیری شود، توزیع عرضی متوسط برای سرعت مماسی تعیین می گردد. به منظور تسهیل در بررسی نتایج از مقادیر بی بعد سرعت استفاده شد. با تنظیم گشودگی در چپه بعد از پمپ، ارتفاع آب در قبل از سرریز مثلثی و در نتیجه دبی، ثابت نگاه داشته شد. به منظور تثبیت عمق جریان در پایین دست قوس، از سرریز مستطیلی نصب شده در انتهای فلوم استفاده شد که با تنظیم آن، ارتفاع آب در پایین دست ثابت نگاه داشته شد. در بررسی هر آزمایش، دو کمیت تقریباً ثابت وجود دارد که عبارت است از دبی جریان و ارتفاع آب در پایین دست قوس، لذا سرعت متوسط در پایین دست نیز ثابت خواهد بود. با تقسیم سرعت مماسی بر سرعت متوسط پایین دست، کمیت بی بعدی به دست می آید که به کمک آن به راحتی می توان الگوی سرعت را مقایسه نمود.

۳-۳- تعریف ناحیه جدایی

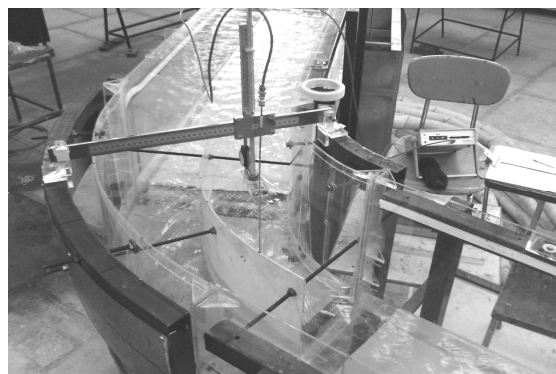
پس از پدیده جدایی آب، ضخامت لایه مرزی، بزرگ شده و باعث تشکیل گردابه هایی در امتداد طولی می گردد. در اثر تشکیل این گردابه ها، افت انرژی در سازه هیدرولیکی به وجود می آید.

ناحیه جدایی در اثر یک تبدیل تنگ شونده ناگهانی و قوس ۹۰ درجه در یک لوله در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین تأثیر ناحیه جدایی در ضریب افت انرژی در شکل ۶ آورده شده است. با توجه به شکلهای زیر مشاهده می شود، هر چه امکان تشکیل ناحیه جدایی کمتر شود ضریب افت انرژی کوچک تر می گردد.

در کانال های باز، هنگامی که آب به یک قوس می رسد در اثر غلبه نیروهای گریز از مرکز، سطح آب مایل می گردد. به نحوی که در نزدیکی دیوارهای خارجی، سطح آب افزایش می یابد و در نزدیکی دیوارهای داخلی، سطح آب کاهش پیدا می کند. به واسطه تغییر

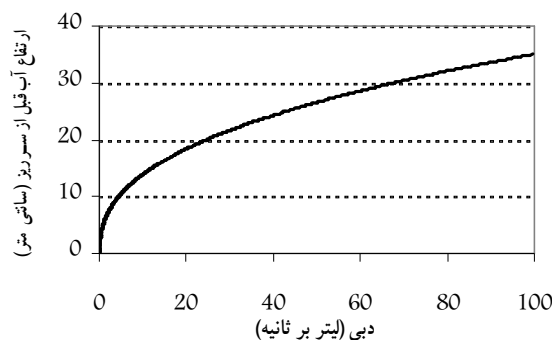


شکل ۵- ناحیه جدایی در تبدیل تنگ شوند ناگهانی و خم در لوله ها



شکل ۳- سرعت سنج جهت قرائت سرعت های محوری در فلوم

شده از رابطه ۱ و دبی هیدرومتری، معادله دبی اشل سرریز، واسنجی گردید. در هیدرومتری جریان، از شبکه بسیار مترامک ۱/۵ سانتی متری استفاده شد و سرعت سطحی آب با اندازه گیری سرعت اجسام شناور و لوله پیتو بررسی گردید. همچنین حداقل ۱۰ دبی توسط هیدرومتری و ۴ دبی توسط اندازه گیری حجمی، در واسنجی سرریز مثلثی دخالت داده شد. ضریب همبستگی بسیار بالای ۰/۹۹۹۲ در کالیبره نمودن سرریز مثلثی، حاکی از دقت بسیار بالایی دبی اندازه گیری شده توسط این سرریز است. در شکل ۴ منحنی اصلاح شده سنج سرریز پس از واسنجی و اصلاحات مربوطه، نشان داده شده است.



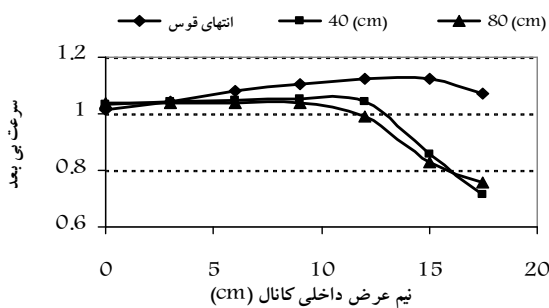
شکل ۴- منحنی اصلاح شده سرریز مثلثی

۳-۲- بررسی پدیده جدایی آب در الگوی جریان قوس های تند

پس از تثبیت رابطه دبی-اشل برای سرریز مثلثی و وجود یک نقطه کنترل برای محاسبه دبی، عملیات اتصال خمها به فلوم انجام گردید. برای تمام قوس ها در زوایای مشخص و در ۴۰ و ۸۰ سانتی متر بعد از قوس، سرعت و ارتفاع آب اندازه گیری شد. سرعت مماسی جریان، در فواصل ۱/۵ تا ۳ سانتی متر به صورت عرضی و عمقی برداشت گردید. سپس برای هر قوس، دیوارهای میانی تقسیم کننده جریان در حالت های یک دیوار در وسط قوس، یک دیوار با ۲۰

۲۵/۲۷ و ۳۰/۸۲ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد و پس از ترسیم توزیع بی بعد سرعت برای هر دبی از متوسط گیری نتایج استفاده شد.

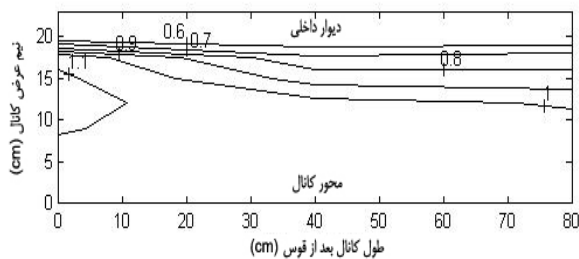
توزیع عرضی سرعت بی بعد، در نیمه داخلی کانال، در حالت بدون دیوار میانی با زاویه انحنا ۳۰ درجه در موقعیتهای انتهایی قوس و ۴۰ و ۸۰ سانتی متر بعد از قوس در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، شروع ناحیه جدایی در انتهایی قوس است و تا مکانی بیش از ۸۰ سانتی متر بعد از قوس نیز ادامه پیدا می کند. به دلیل عدم برداشت توزیع سرعت جریان بعد از ۸۰ سانتی متری انتهایی قوس، در خصوص محل خاتمه ناحیه جدایی نمی توان اظهار نظر نمود. افزایش سرعت در نزدیکی دیواره داخلی در مقطع ۸۰ سانتی متری حاکی از آن است که بیشترین کاهش سرعت در مقطع عرضی ۴۰ سانتی متری انتهایی قوس ایجاد شده است.



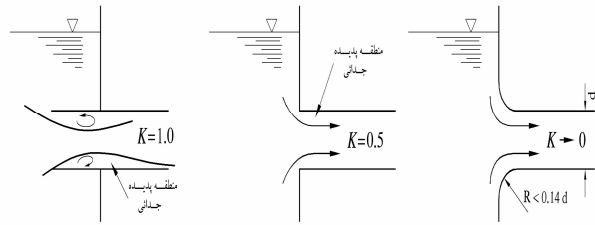
شکل ۷- توزیع عرضی سرعت در نیمه داخلی کانال (قوس ۳۰ درجه)

خطوط هم سرعت متوسط گیری شده بدون بعد در شکل ۸ نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که محل شروع پدیده جدایی در انتهایی قوس است. در شکل ۹ برای قوس با زاویه مرکزی ۶۰ درجه، توزیع عرضی سرعت مماسی متوسط عمقی که بدون بعد است، نشان داده شده است. همچنین خطوط هم سرعت پس از قوس در شکل ۱۰ آورده شده است.

از مقایسه پروفیل عرضی سرعت مماسی بی بعد در مقاطع مختلف، محل شروع پدیده جدایی در انتهایی قوس به دست آمد.



شکل ۸- خطوط هم سرعت در نیمه داخلی کانال بعد از قوس ۳۰ درجه



شکل ۶- تاثیر ناحیه جدایی در ضریب افت انرژی ورودی

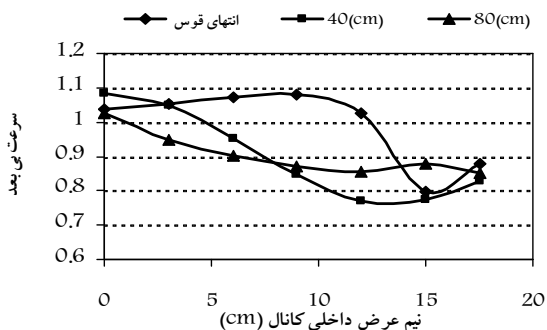
سطح آب در هر مقطع عرضی عمود بر محور کانال، گرادیان عرضی فشار به وجود می آید. در اثر عدم تعادل فشار و وجود گرادیان فشار، جریانی در کف کانال از دیوار خارجی به سمت دیوار داخلی به وجود می آید. در سطح آب، نیروی گریز از مرکز باعث تشکیل جریانی از سمت دیوار داخلی به سمت دیوار خارجی می گردد. تاثیر این دو جریان باعث تشکیل جریان ثانویه در هر مقطع عرضی از خم کانال می گردد. از آنجا که در میانه قوس، حداکثر افزایش سطح آب در دیوار خارجی و حداقل تراز سطح آب در دیوار داخلی تشکیل می گردد، لذا از میانه قوس تا انتهایی آن، گرادیان طولی فشار در دیوار خارجی به وجود می آید که منجر به کاهش ارتفاع آب می شود. همچنین در دیوار داخلی قوس نیز از میانه قوس تا انتهایی آن گرادیان افزایش فشار به صورت طولی به وجود می آید.

در دیوار داخلی انتهایی قوس، گرادیان افزایشی طولی فشار، منجر به افزایش سطح آب و کاهش مؤلفه سرعت نسبت به مقاطع میانی قوس می شود. برآیند جریان ثانویه و کاهش سرعت طولی، موجب انتقال مؤلفه های سرعت حداکثر جریان از دیوار داخلی به دیوار خارجی می شود. لذا در کانال مستقیم بعد از قوس، مؤلفه حداکثر سرعت طولی در حوالی دیوار خارجی شکل خواهد گرفت. این تغییر جهت سرعت حداکثر، منجر به تشکیل ناحیه جدایی در دیوار داخلی بعد از قوس می گردد که هر چه انحنای قوس شدیدتر باشد یا به عبارت ساده تر نسبت شعاع انحنا به عرض کانال کوچک تر باشد، تاثیر ناحیه جدایی و امکان تشکیل آن بیشتر خواهد شد.

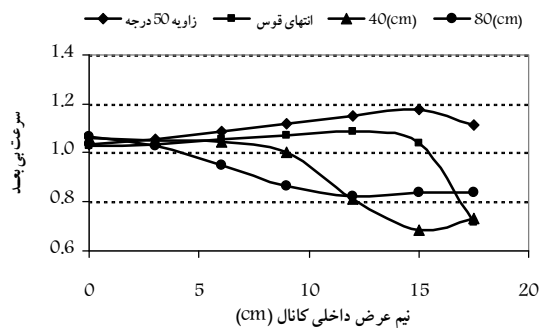
در اثر پدیده جدایی آب، سرعت های طولی در کانال بعد از قوس در نزدیکی دیوار های داخلی به سرعت کاهش یافته و در پلان کانال، گردابه هایی به وجود می آید که تاثیر این گردابه ها به همراه تأثیر جریان ثانویه، منجر به تشدید افت انرژی در جریان بعد از قوس می گردد.

۳-۴- محل شروع ناحیه جدایی

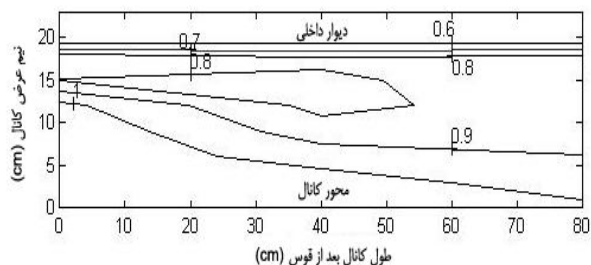
در این بررسی موقعیت محل شروع ناحیه جدایی تعیین گردید. دبی های مورد نظر در آزمایش ها ۴/۹۶، ۷/۷۵، ۱۳/۵۴، ۱۹/۰۶،



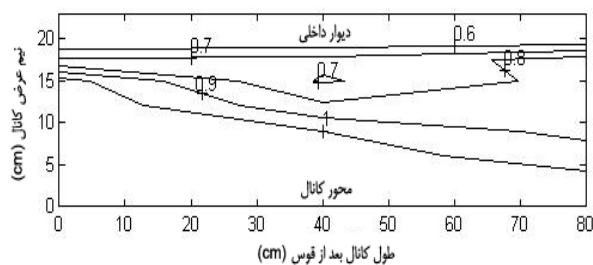
شکل ۱۱- توزیع عرضی سرعت در نیمه داخلی کانال (قوس ۹۰ درجه)



شکل ۹- توزیع عرضی سرعت در نیمه داخلی کانال (قوس ۶۰ درجه)



شکل ۱۲- خطوط هم سرعت در نیمه داخلی کانال بعد از قوس ۹۰ درجه



شکل ۱۰- خطوط هم سرعت در نیمه داخلی کانال بعد از قوس ۶۰ درجه

میانی بررسی شد. حالت دوم، یک دیوار میانی در وسط که از ابتدای قوس شروع و در انتهای قوس خاتمه می‌یافت و در حالت سوم حضور دو دیوار در داخل قوس بررسی شد. این دیوارها از نوع پلی اتیلن انتخاب شد و مقطع کانال را در حالت دوم به دو قسمت و در حالت سوم به سه قسمت مساوی تقسیم کرد.

قوس ۶۰ درجه در چهار حالت بررسی شد. در حالت اول، قوس بدون دیوار میانی بررسی شد. در حالت دوم، یک دیوار میانی در وسط که از ابتدای قوس شروع و در انتهای قوس خاتمه می‌یافت. در حالت سوم یک دیوار میانی که به اندازه ۲۰ سانتی‌متر در کانال قبل و بعد از قوس ادامه داشت تا تأثیر پیش‌آمدگی در قبل و بعد از قوس مورد ارزیابی قرار گیرد و در حالت چهارم، حضور دو دیوار در داخل قوس بررسی شد.

قوس ۹۰ درجه در سه حالت بررسی شد. حالت اول بدون دیوار میانی بررسی شد. حالت دوم با یک دیوار میانی که از ابتدای قوس شروع و در انتهای قوس خاتمه می‌یافت و در حالت سوم، یک دیوار میانی به اندازه ۲۰ سانتی‌متر در کانال قبل و بعد از قوس ادامه داشت، بررسی شد.

در شکل ۱۳ توزیع عرضی سرعت بدون بعد طولی در نیمه داخلی کانال بعد از قوس، برای قوس ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه، با حضور دیوارهای میانی و بدون این دیوارها، ترسیم شده است. با توجه به شکل‌های ارائه شده و جدول ۱، میزان بهبود اثرات پدیده

حداکثر تأثیر جدایی در ۴۰ سانتی‌متر پس از قوس و در ۵ سانتی‌متری از دیوار داخلی است.

در قوس ۹۰ درجه، توزیع عرضی سرعت مماسی متوسط عمقی در حالت بدون دیوار در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۱۲ خطوط هم سرعت بی‌بعد، پس از قوس محاسبه و نشان داده شده است. شکل‌های زیر نشان می‌دهد که محل شروع ناحیه جدایی در پایان قوس است. در ۴۰ سانتی‌متر بعد از قوس پدیده جدایی در موقعیت ۱۵ سانتی‌متری از محور کانال، به حداکثر شدت خود رسید. این محاسبات برای حالاتی با حضور دیوارهای غیر مستغرق داخلی نیز انجام شد و در تمام حالات مذکور، پدیده جدایی بلافاصله بعد از قوس تشکیل شد و عموماً در فاصله ای به اندازه عرض کانال در بعد از قوس، سرعت جریان به حداقل مقدار خود رسید. البته تأثیر این پدیده در فاصله‌ای بیش از دو برابر عرض کانال در پایین دست نیز وجود دارد که در این مطالعه در خصوص مکان خاتمه ناحیه جدایی بررسی صورت نگرفت.

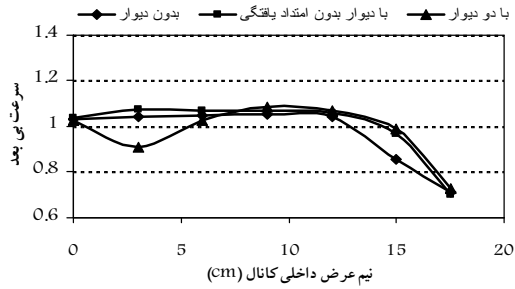
۳-۵- کاهش ناحیه جدایی آب در اثر دیوارهای غیر مستغرق میانی

در این قسمت، تأثیر دیوارهای غیر مستغرق میانی بررسی شد. به این منظور برای قوس ۳۰ درجه، توزیع عرضی سرعت مماسی متوسط عمقی در سه حالت تهیه شد. حالت اول، قوس بدون دیوار

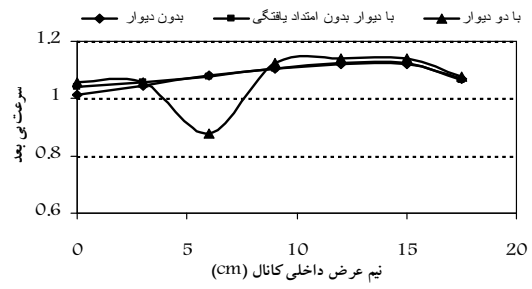
تعیین گردید. سپس با توجه به متوسط‌گیری در امتداد عمق، توزیع عرضی سرعت طولی متوسط برای هر دبی عبوری ترسیم شد.

جدایی، به واسطه نصب دیوارهای میانی نشان داده شده است. اعداد در جدول ۱ به این صورت به دست آمده است که ابتدا سرعت جریان در هر موقعیت محاسبه شد و توزیع عرضی سرعت

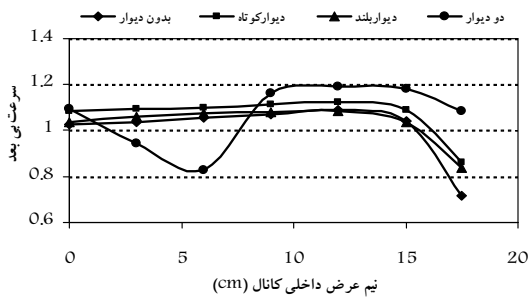
ب-30 درجه (40 سانتی متر انتهای قوس)



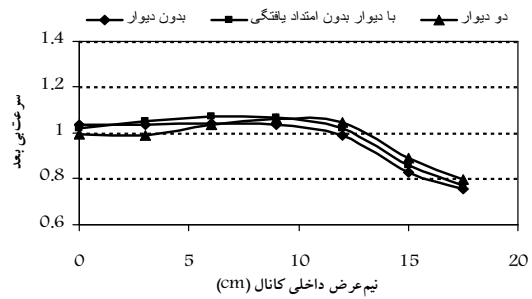
الف-قوس 30 درجه (انتهای قوس)



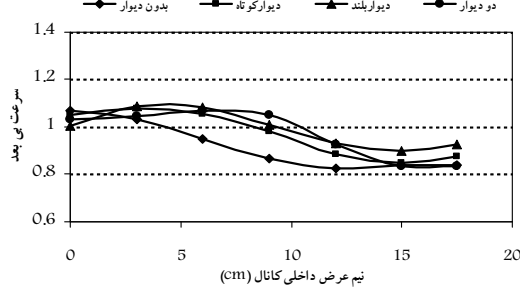
ت-60 درجه (انتهای قوس)



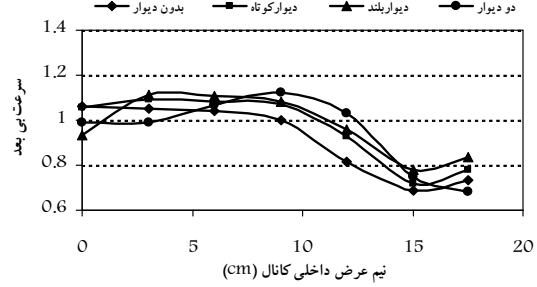
ب-30 درجه (80 سانتی متر انتهای قوس)



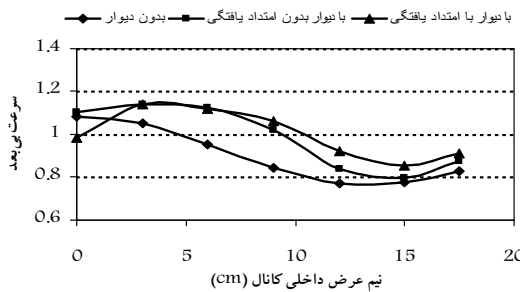
ج-60 درجه (40 سانتی متر انتهای قوس)



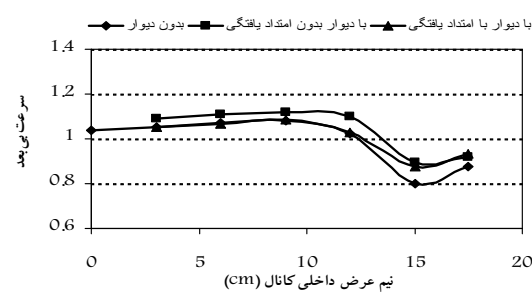
ت-60 درجه (40 سانتی متر انتهای قوس)



ح-90 درجه (40 سانتی متر انتهای قوس)



ج-90 درجه (انتهای قوس)



شکل ۱۳- تأثیر دیوارها میانی در افزایش سرعت جریان در ناحیه جدا شدگی

جدول ۱- تأثیر دیوارهای میانی در کاهش پارامترهای سوء پدیده جدایی

۹۰ درجه		۶۰ درجه		۳۰ درجه			
یک دیوار با امتداد	یک دیوار بدون امتداد	دو دیوار	یک دیوار با امتداد	یک دیوار بدون امتداد	دو دیوار	یک دیوار بدون امتداد	
۳/۹۲	۶/۴۱	۱۵/۵	۳/۲	۶/۴۴	۱/۴۲	۰/۰۵	انتهای قوس
۱۴/۱۰	۹/۷۲	۶/۹۶	۱۰/۷	۶/۵۲	۳/۸۲	۲/۹۷	۴۰ سانتی متر بعد از قوس
۱۰/۰۶	۷/۴۴	۷/۷۸	۱۰/۹	۶/۹	۳/۸۳	۳/۰۱	۸۰ سانتی متر بعد از قوس

۱- در کانال‌های باز دارای خم، در اثر جریان ثانویه و وجود گردادیان طولی فشار، سرعت حداکثر جریان در انتهای قوس، به صورت ناگهانی تغییر جهت نموده و در نتیجه، پدیده تمایل جدایی آب به وجود می‌آید.

۲- هرچه زاویه انحنا بیشتر باشد، تأثیر جدایی آب بیشتر به چشم می‌خورد.

۳- در کانال‌های با قوس تند که نسبت شعاع انحنا به عرض کانال ۱/۵ است، تأثیر ناحیه جدایی بلافاصله بعد از قوس نمایان می‌گردد.

۴- در سه حالت قوس ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه بدون دیوار میانی، در فاصله‌ای به اندازه عرض کانال در بعد از قوس، حداکثر تأثیر جدایی مشاهده می‌شود.

۵- در اثر حضور دیوارهای غیرمستغرق میانی، آثار سوء ناحیه جدایی بهبود می‌یابد و بیشترین تأثیر مربوط به قوس ۹۰ درجه با دیوار امتداد یافته به اندازه ۲۰ سانتی متر در کانال مستقیم بالادست و پایین دست و کمترین تأثیر مربوط به قوس‌های با انحنا ۳۰ درجه خواهد بود.

از تقسیم این توزیع عرضی بر سرعت ثابت متوسط جریان در پایین دست، توزیع سرعت طولی بی‌بعد برای هر دبی به دست آمد و از متوسط مقادیر سرعت‌های بی‌بعد استفاده شد. توزیع عرضی سرعت بی‌بعد در حالت کانال با دیوار میانی و کانال بدون دیوار، مقایسه گردید و درصد تأثیر دیوارها تعیین شد. بهبود سرعت عبارت است از تفاضل سرعت در هر موقعیت در حالت با دیوار میانی و بدون دیوار میانی تقسیم بر سرعت در حالت بدون دیوار که به صورت درصد نشان داده شد. سپس از ارقام مذکور متوسط‌گیری شد و در جدول ۱ نمایش داده شد. با توجه به ارقام مندرج در جدول ۱ مشاهده می‌شود که با لحاظ نمودن دیوارهای میانی، پارامترهای سوء پدیده جدایی بین ۳/۸ تا ۱۴/۱۰ درصد بهبود می‌یابد. برای حالتی که یک دیوار در کانال نصب شد، کمترین تأثیر دیوارها در قوس ۳۰ درجه و بیشترین مقدار برای قوس ۹۰ درجه بود.

۴- نتیجه‌گیری

در این بررسی آزمایشگاهی بر روی قوس‌های تند نتایج زیر به دست آمد:

۵- مراجع

- 1- Thomson, J. (1876). "On the origin of winding of rivers in alluvial plains." *Processing of the Royal Society.*, 25, 5-8
- 2- Rozovskii, I. L. (1961). *Flow of water in bends of open channels*, Academy of Sciences of the Ukrainian S. S. R. Translated from Russian, Israel Program for Science Translation.
- 3- Devriend, H. J. (1979). "A mathematical model of steady flow in curve shallow channels." *J. Hydraulic. Res.*, 15(1), 37-54.
- 4- Devriend, H. J., and Geoldof, H. J. (1983). "Main flow velocity in short river bends." *J. Hydraulic. Div.*, 109(7), 991-1011.
- 5- Steffler, P. M., Rajasthan, N., and Peterson, A. M. (1985). "Water surface change of channel curvature." *J. Hydraulic. Eng.*, 111(5), 866-870.

- 6- Jian, Y., and McCorquadale, J. A. (1998). "Simulation of curved open channel flow by 3d hydrodynamic model." *J. Hydraulic. Eng.*, 125(7), 687-697.
- 7- Blanckaert, K., and Graf, W. H. (2001). "Main flow and turbulence in open channel bend." *J. Hydraulic. Eng.*, 127(10), 835-847.
- 8- Odgaard, A. J., and Lee, H. Y. E. (1984). *Submerged vanes for flow control and bank protection in streams*, IIHR Report No. 279, Iowa Inst. of Hydr. Res., University of Iowa, Iowa.
- 9- Odgaard, A. J., and Masconi, C. E. (1987). "Stream bank protection by submerged vanes." *J. Hydraulic. Eng.*, 113 (4), 520-536.
- 10- Odgaard, A. J., and Wang. Y. (1991). "Sediment management with submerged vanes, II Application." *J. Hydraulic. Eng.*, 117(3), 284-302.
- ۱۱- شاهرخی، م.، بارانی، ع.، و غفوری، ع. (۱۳۸۵). "بررسی اثر صفحات مستغرق در انتقال رسوب در انحنا، رودخانه با مدل فیزیکی." هفتمین کنفرانس بین المللی رودخانه، دانشگاه چمران، اهواز.
- 12- Leschziner, A., and Rodi, W. (1979). "Calculation of strongly curved open channel flow." *J. Hydraulic. Div.*, 105(10), 1297-1314.
- 13- U.S.B.R. (1985). *Design of small dams*, U .S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, USA.
- 14- Armfield Limited, Co. (1995). *Instruction manual of miniature propeller velocity meter type H33*, Spanol.
- ۱۵- حسینی، م.، و ابریشمی، ج. (۱۳۷۸). *میدرولیک کانال‌های باز*. چاپ دهم، انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد.