



مطالعه آزمایشگاهی مولفه های طولی سرعت پیرامون آبشکن های سری ساده

پدرام اسمعیلی^۱، سیامک بوداچپور^۲، محمد رستمی^۳، مهدی میرزایی^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۹/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲

مقاله پژوهشی

چکیده

عموماً به دلیل وجود جریان های ثانویه در انحنای رودخانه، دیواره خارجی در قوس، همواره در معرض تخریب و فرسایش می باشد. این جریان ها خطوط جریان سطحی را به سمت دیواره خارجی و خطوط جریان نزدیک به بستر را به سمت ساحل داخلی منحرف می سازند. از این رو مطالعه جریان در کانال های پیچان رودی به منظور جلوگیری از فرسایش از اهمیت ویژه ای برخوردار است. یکی از ساده ترین و در عین حال اقتصادی ترین روشها جهت مقابله با فرسایش دیواره خارجی استفاده از آبشکن است. به همین منظور در این پژوهش آزمایشگاهی، به بررسی تاثیر حضور و عدم حضور آبشکن های سری بر مولفه های طولی سرعت در یک کانال پیچان رودی با دیواره شیب دار فرسایش پذیر پرداخته شده است. نتایج نشان داد که حضور آبشکن های سری ساده موجب کاهش سرعت جریان در دیواره خارجی شده است. بنابراین به طور متوسط بیشترین کاهش سرعت بین آبشکن های دوم و سوم و کمترین کاهش سرعت بین آبشکن های سوم و چهارم صورت گرفته است. همچنین بررسی ها نشان داد با افزایش ۳۳ درصدی دبی جریان حدود ۵ درصد به عملکرد آبشکن ها در کاهش سرعت جریان در دیواره خارجی قوس افزوده شده است.

واژه های کلیدی: آبشکن های سری، سرعت طولی، کانال پیچان رودی، مطالعه آزمایشگاهی

^۱ گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، شماره تلفن: ۰۹۱۲۵۱۲۶۱۳۲،
Email: pedramesmaeli@gmail.com

^۲ گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران، شماره تلفن: ۰۹۱۲۴۲۵۸۸۰۲،
Email: bodaghpour@kntu.ac.ir

آستادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، شماره تلفن: ۰۹۱۲۳۸۶۳۱۴۵
Email: Rostami@scwmri.ac.ir (* نویسنده مسئول)

^۴ گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
Email: m.mirzaee@iaucb.ac.ir

مقدمه

جریان در رودخانه ها و مجاری باز در مسیر حرکت خود علاوه بر عبور از مسیر های مستقیم ملزم به گذر از مسیر های پیچان رودی می باشد. در قوس رودخانه ها الگوی خاصی از هیدرولیک جریان حاکم است، به طوریکه همواره در قوس خارجی فرسایش و در قوس داخلی رسوبگذاری اتفاق می افتد. یکی از روشهای ساماندهی و تثبیت ساحل در قوس خارجی رودخانه استفاده از آبشکن است. ساختن آبشکن ها باعث تغییر الگوی جریان در مقطع رودخانه و موجب انحراف خطوط جریان از دیواره های فرسایش پذیر به میانه رودخانه می شود. همچنین با کاهش سرعت جریان، از شدت برخورد آن با دیواره کاسته و قابلیت رسوبگذاری جریان را افزایش می دهند. بنابراین با توجه به تاثیرات مهمی که پس از احداث آبشکن ایجاد می شود، مطالعه و بررسی در خصوص آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. برخی از تحقیقات صورت گرفته توسط محققین در این زمینه به شرح زیر می باشد. پرزوجسکی و همکاران مطالعاتی را در مورد آبشکن های موجود در قوسهای رود وازتا انجام داد که منجر به تایید نتایج بدست آمده از تحقیقات کولپند گردید. ایشان همچنین متوجه شدند که سرعت های جریان در داخل گردابه ها و عرض و عمق حفره های آبستتگی بستگی به انحنای قوس و موقعیت قرار گیری آبشکن ها دارد (Perzedwojski et al., 1995). اتما و مستو آزمایشاتی را در یک کانال مستقیم با بستر صلب و پهنای ثابت به منظور تعیین اثر حضور آبشکن بر الگوی جریان و تعیین نواحی جداشدگی در بالادست و پایین دست انجام دادند. آن ها به وقوع ناحیه چرخشی در بالادست، ناحیه جداشدگی و چرخشی بزرگ در پایین دست و نیز گردابه های آشفتگی حاصل از نوسانات لایه برشی اشاره نمودند (Ettema and Muste., 2004).

یافته بر روند شکل گیری جریان های گردابه ای و نیز توزیع تنش برشی بستر پرداختند. آنها مشاهده کردند که ساختار گردابه نعل اسبی در حالت بستر تخت پایدار تر از بستر توسعه یافته بوده است (Koken and Constantinescu, 2008). ژانگ و همکاران الگوی جریان در اطراف آبشکن های نفوذ ناپذیر را با استفاده از روشهای عددی و آزمایشگاهی، در شرایط آب زلال بررسی کردند. بر اساس مقایسه میان نتایج آزمایشگاهی و عددی، نتیجه گرفتند که مدل آشفتگی $k-\epsilon$ برای شبیه سازی جریان آشفته مناسب تر است (Zhang et al., 2009). کشاورزی و همکاران به بررسی جریان در اطراف آبشکن مستغرق در یک کانال مرکب پرداختند. نتایج آزمایش ها نشان داد که اندازه حرکت و انرژی جنبشی در دو جهت کاهش می یابد و خطوط جریان از دیواره ها به کانال اصلی انحراف می یابند (Keshavarzi et al., 2010). موسوی نائینی و همکاران الگوی جریان اطراف آبشکن T شکل را در قوس ۹۰ درجه با بستر صلب به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج نشان داد که الگوی جریان شکل گرفته پیرامون آبشکن T شکل، تشکیل دو گردابه پاد ساعتگرد در بالادست و پایین دست آبشکن را به همراه خواهد داشت (Mousavi Naeini et al., 2010). یزدی و همکاران به شبیه سازی الگوی جریان پیرامون تک آبشکن در مسیر مستقیم با استفاده از شبیه $K-\epsilon$ در نرم افزار Fluent پرداختند. آنها تاثیر فراسنجهای طول، زاویه آبشکن و بده جریان را بر توزیع تنش برشی بررسی نمودند (Yazdi et al., 2010). ژیا فنگ و همکاران الگوی جریان آشفته پیرامون تک آبشکن با هندسه متفاوت را مورد مطالعه قرار دادند. مشاهده آن ها بیانگر این بود که بیشترین شدت آشفتگی پیرامون آبشکن دوزنقه ای به وقوع می پیوندد (Xiufang et al., 2012). جیمی سون و همکاران دینامیک رسوب و جریان سه بعدی در قوس کانال را با حضور و عدم حضور آبشکن مستغرق مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد در

دارد استفاده شود. علت این امر نیز هزینه ساخت بیشتر آبشکن T شکل بیان شده است (Kumar et al., 2018). اعزی و همکاران با استفاده از مدل عددی هیدرودینامیکی و انتقال رسوب CCHE2D به شبیه سازی الگوی جریان و تغییرات بستر آبراهه در اطراف سازه آبشکن ساده پرداختند. مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از مدل عددی نشان می دهد که این مدل می تواند با دقت مناسبی الگوی جریان را در اطراف آبشکن های منفرد و سری آبشکن ها شبیه سازی نماید (Aezzi et al., 2018). واقفی و همکاران به مطالعه شرایط جریان را در اطراف آبشکن T شکل، با حضور سازه محافظ، پرداختند. نتایج این مطالعه بیانگر این است که حداکثر تنش برشی بستر برای سازه محافظ در حالت های جاذب و دافع به ترتیب ۲۳/۵ درصد و ۱۷/۶ درصد نسبت به حالت عمود افزایش یافته است. همچنین قدرت جریان ثانویه در نزدیکی آبشکن اصلی برای زوایای کمتر از ۱۵ درجه در حالت های جاذب و دافع نسبت به حالت عمود به ترتیب ۲۴ درصد و ۱۴/۵ درصد افزایش یافت. این مقادیر برای زوایای ۲۰ تا ۳۰ درجه در حدود ۱۴/۶ درصد و ۱۵/۵ درصد کاهش می یابد (Vaghefi et al., 2018). فتحی و همکاران به بررسی الگوی جریان در بازه ای از پیچان رود طبیعی رودخانه خشکه رود فارسان با استفاده از مدل عددی CCHE2D پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که در صورت ورود شبکه محاسباتی استاندارد به مدل، این مدل در پیش بینی مقادیر سرعت جریان از دقت بالایی برخوردار بوده و داده های شبیه سازی در مقایسه با داده های حاصل از اندازه گیری صحرائی، شباهت زیادی دارند (فتحی و همکاران، ۱۳۹۱). نیکنام و همکاران شبیه سازی الگوی جریان در یک بازه پیچان رودی با استفاده از مدل هیدرودینامیکی پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل در پیش بینی مقادیر سرعت و عمق جریان به خصوص در قوس های قلمرو مورد مطالعه از دقت مناسبی برخوردار بوده و داده های شبیه سازی شده به داده های اندازه گیری شده شباهت زیادی دارند (نیکنام و همکاران، ۱۳۹۶).

صورتی که آبشکن ها سبب ایجاد جریان ثانویه اضافی شوند، ناحیه ساحل ممکن است با وجود آبشکن ها باز هم در خطر فرسایش باشد و یا حتی فرسایش آن بیش تر از حالتی باشد که آبشکن وجود ندارد (Jamieson et al., 2013). ایرانشاهی و همکاران آبشکن سر سپری را به صورت سری در قوس تند مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد، میزان آبشستگی برای آبشکن اول بیش از آبشکن دوم و سوم می باشد. این مسأله نشان دهنده آن است که بستر پیرامون آبشکن اول باید با استفاده از روشهای حفاظتی، در برابر آبشستگی محافظت شود (Iranshahi et al., 2016).

لی و جانگ اثر فاصله بین آبشکن های سری بر آبشستگی بستر و الگوی جریان را مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که عمق آبشستگی در حالت تعادل دینامیک، ثابت است و عمق آبشستگی بی بعد با زیاد شدن فاصله، افزایش می یابد (Lee and Jang., 2016). آرمان و همکاران مقایسه و شبیه سازی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه ملایم با استفاده از مدل های CCHE2D و SRH-2D پرداختند. نتایج حاصل از شبیه سازی الگوی جریان، با نتایج حاصل از مدل ها، نشان دهنده قابلیت بالای هر دو مدل در شبیه سازی الگوی جریان در قوس می باشد (Arman et al., 2017). واقفی و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی جریان سه بعدی اطراف آبشکن T شکل در قوس با دیواره قائم صلب پرداختند و نشان دادند که جریان ثانویه از ۳۰ درجه آغاز می شود و تا ۶۵ درجه به صورت کاهشی ادامه دارد. در این مطالعه، گردابه و جریان معکوس در بالادست و پایین دست آبشکن و تغییرات جریان ثانویه نیز بررسی شده است (Vaghefi et al., 2017). کومار و همکاران آبشستگی اطراف آبشکن های ساده و T شکل را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که آبشکن T شکل در حفاظت از بستر و کاهش عمق آبشستگی و خرابی های سازه های آبی موثرتر است. بنابراین پیشنهاد می شود جاهایی که سازه های آبی باید حفاظت شود آبشکن T شکل مورد استفاده قرار گیرد و آبشکن ساده باید در مواقعی که انحراف و جابه جایی جریان اهمیت

همانطور که ملاحظه گردید مطالعات گذشته بیشتر متمرکز بر روی کانال های قوسی شکل با دیواره قائم صلب در شرایط تک آبشکن یا آبشکن های سری بوده و کمتر به شیب دار بودن دیواره توجه شده است. به همین دلیل در مطالعه حاضر شیب دار و فرسایش پذیر بودن دیواره قوس و اثر تغییرات دبی بر مولفه سرعت های طولی جریان در یک کانال پیچان رودی متشکل از سه قوس با زاوایای ۴۵، ۹۰ و ۴۵ درجه مورد توجه قرار گرفته است.

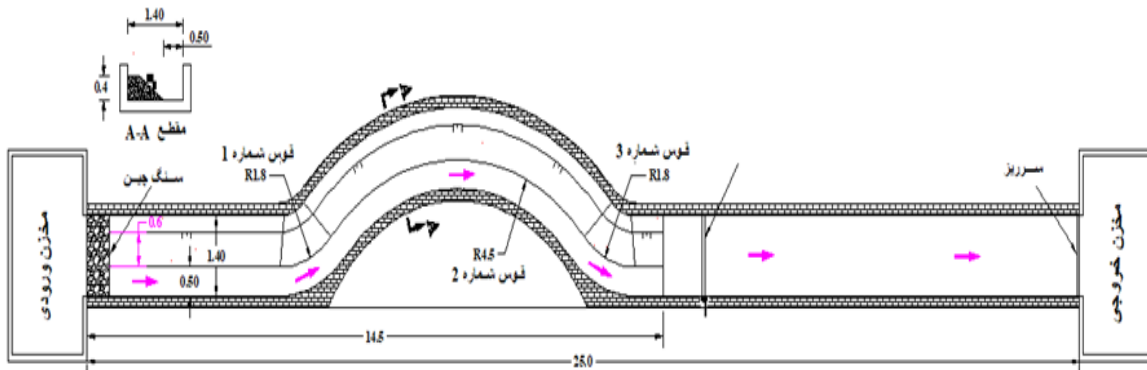
مستقیم و بطول حدود ۱۱ متر به مخزن تخلیه کننده متصل می شود. بازه قوسی شکل که ترکیبی از قوس چپگرد، راستگرد و سپس چپگرد می باشد دارای طولی برابر ۱۰ متر می باشد. که این بازه قوسی با زاوایای ۴۵، ۹۰ و ۴۵ درجه به یکدیگر متصل شده اند. یک سرریز مستطیلی برای اندازه گیری دبی جریان و یک دریچه برای تنظیم سطح آب در انتهای کانال در نظر گرفته شد. شکل ۱ تصویری شماتیک از پلان کانال آزمایشگاهی را نشان می دهد. برای ایجاد دیواره شیب دار در سمت چپ کانال آزمایشگاهی از مصالح ماسه ای با قطر $D_{50}=2.9$ میلی متر و انحراف معیار $\sigma_g=1.31$ استفاده شده است. با توجه به آنکه انحراف معیار مصالح کمتر از ۱/۵ محاسبه شده است، بنابراین مصالح استفاده شده دیواره کانال دارای یکنواختی می باشد. به منظور ایجاد دیواره فرسایش پذیر، ابتدا از سمت راست مقطع کانال به میزان ۰/۵ متر به عنوان عرض کف در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از مصالح منتخب، دیواره ای فرسایش پذیر با شیب ۱:۱/۵ (۱ عمودی به ۱/۵ افقی) در سمت چپ کانال ایجاد گردید. کف کانال آزمایشگاهی صلب و از جنس بتن ساخته شده است. مقطع نهایی مورد آزمایش مطابق برش A-A می باشد که در شکل ۱ نمایش داده شده است. دبی جریان در طول آزمایش ۳۰، ۳۵ و ۴۰ لیتر بر ثانیه و عمق آب ۱۲ سانتی متر بوده و تراز سطح آب با استفاده از دستگاه اندازه گیر نقطه ای پوینت گیج^۵ با دقت ۰/۲۰ میلی متر اندازه گیری شده است. داده های آزمایشگاهی موجود شامل داده های مربوط به سرعت در دو حالت حضور و عدم حضور آبشکن هاست.

همانطور که ملاحظه گردید مطالعات گذشته بیشتر متمرکز بر روی کانال های قوسی شکل با دیواره قائم صلب در شرایط تک آبشکن یا آبشکن های سری بوده و کمتر به شیب دار بودن دیواره توجه شده است. به همین دلیل در مطالعه حاضر شیب دار و فرسایش پذیر بودن دیواره قوس و اثر تغییرات دبی بر مولفه سرعت های طولی جریان در یک کانال پیچان رودی متشکل از سه قوس با زاوایای ۴۵، ۹۰ و ۴۵ درجه مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روشها

معرفی کانال آزمایشگاهی

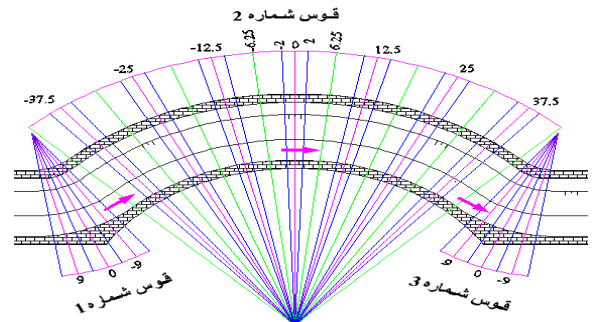
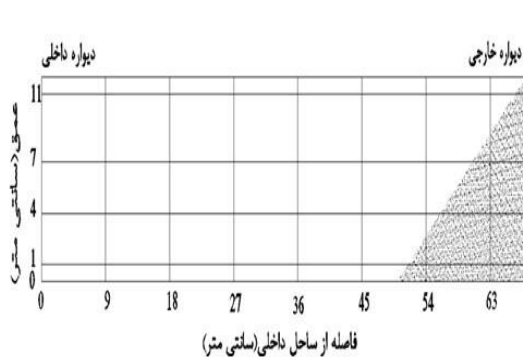
آزمایش ها در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در کانالی بتنی به صورت ترکیبی از مسیر مستقیم و قوسی به طول ۲۶ متر و به شکل مستطیل به عرض ۱/۴ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام گرفته است. که طول تصویر ظاهری کانال بر روی محور افقی ۲۵ متر می باشد. به عبارتی قوسهای ایجاد شده در کانال موجب افزایش ۱ متری طول کانال شده است. در بالادست این کانال یک مخزن آرام کننده وجود دارد که توسط یک تبدیل به کانال آزمایشگاهی متصل می شود. برای جلوگیری از فرسایش دیواره شیب دار کانال و همچنین کاهش تلاطم جریان، حوضچه آرامشی بطول تقریبی ۱ متر و متشکل از مصالح درشت دانه در بخش ورودی کانال ایجاد شده است. پس از حوضچه آرامش، کانال با شکل پلان مستقیم و به طول تقریبی ۴ متر طی مسیر نموده و به قوسهای متوالی منتهی می شود. پس از قوسهای متوالی نیز مجدد کانال با شکل پلان



شکل (۱): شماتیک پلان کانال آزمایشگاهی

های موجود، فاصله بین آبشکن های متوالی یکسان و برابر $12/5$ درجه در نظر گرفته شد. از آنجا که در آزمایش بدون حضور آبشکن مشخص گردید که شروع محدوده فرسایش، نزدیک به محور مرکزی قوس شماره ۲ و جلو تر از آن می باشد بنابراین آبشکن اول بر روی این محور جانمایی گردید. همچنین بررسی ها نشان داد که این فرسایش در نیمه دوم قوس شماره ۲ و بخشی از قوس شماره ۳ ادامه می یابد. بنابراین ضرورت دارد که به منظور کنترل فرسایش و حفاظت کناره این دو قوس، آبشکن های دیگری طراحی و جانمایی گردد. لازم به توضیح است که نیمه دوم قوس شماره ۲ دارای زاویه 45 درجه می باشد. که با احتساب زاویه $12/5$ درجه بین دو آبشکن متوالی، ۳ آبشکن دیگر را می توان پس از آبشکن اول در این قوس جانمایی نمود. برای حفاظت کناره قوس شماره ۳ و جلوگیری از تاثیر آن بر تغییرات ریخت شناسی قوس قبلی، آبشکن پنجم با زاویه $12/5$ درجه از آبشکن چهارم قرار خواهد گرفت. بنابراین در امتداد زاویه 50 درجه از محور مرکزی قوس شماره ۲، آبشکن پنجم در قوس شماره ۳ مستقر گردید. در شکل ۳ موقعیت استقرار آبشکن ها در قوسهای شماره ۲ و ۳ نشان داده شده است.

به منظور برداشت سرعت، شبکه بندی مطابق شکل ۲- الف و ب طراحی شد. همانطور که ملاحظه می گردد، مقاطع برداشت اطلاعات سرعت جریان در محل آبشکن ها و محدوده بین دو آبشکن قرار دارند. به منظور بررسی تاثیر آبشکن ها و همچنین افزایش دقت الگوی جریان، دو مقطع به فاصله ۲ درجه از طرفین آبشکن انتخاب گردید. به عبارتی بین دو آبشکن ۵ مقطع عرضی برای برداشت اطلاعات آزمایشگاهی در نظر گرفته شد. این الگوی برداشت برای کل قوس شماره ۲ (قوس 90 درجه) و قسمتی از قوس شماره ۱ و ۳ توسعه داده شد. برای هر یک از قوس های شماره ۱ و ۳ نیز به صورت مجزا ۴ مقطع عرضی مطابق شکل ۲ انتخاب گردید. در هریک از مقاطع، ۷ نقطه در راستای شعاعی و ۴ نقطه با فاصله از بستر برابر ۱، ۴، ۷ و ۱۱ سانتی متری در راستای عمق برای اندازه گیری مولفه سرعت تعیین گردید. الگوی جریان در مقاطع مختلف با استفاده از دستگاه سرعت سنج دوبعدی ساخت موسسه دلفت هلند در شرایط حضور و عدم حضور آبشکن ها اندازه گیری گردید. آبشکن های مورد استفاده در این آزمایش مستقیم و از جنس پلکسی گلاس بوده و طول آبشکن ها برابر ۱۵ سانتی متر و ضخامت و ارتفاع آنها به ترتیب $0/5$ و ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. آبشکن ها به صورت قائم بر جریان و غیر مستغرق جانمایی شده اند. در این تحقیق و بر اساس استاندارد



ب

الف

شکل (۲): مش بندی کانال جهت برداشت سرعت الف (پلان ب) مقطع عرضی



شکل (۳): موقعیت استقرار آبشکن ها در قوس

نتایج و بحث

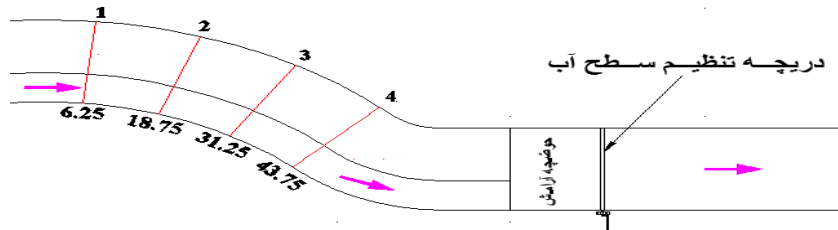
بررسی توزیع سرعت طولی در شرایط عدم حضور آبشکن

در یک رودخانه قوسی مولفه های سرعت جریان به دلیل اندرکنش های جریانهای ثانویه و جریان اصلی حاکم بر رودخانه حایز اهمیت است. با ورود جریان به قوس الگوی جریان به علت پیدایش و رشد جریان ثانویه دچار تغییرات خواهد شد. جریان ثانویه شکل گرفته نیز تأثیر متقابل بر روی الگوی جریان خواهد داشت. در نتیجه پروفیل های سرعت در طول کانال های قوسی شکل، نسبت به پروفیل های سرعت در مسیر مستقیم دچار تغییرات خواهند شد. در مسیرهای مستقیم

لایه نزدیک به دیواره به علت وجود دیواره و شرط عدم لغزش انتظار می رود که سرعت کم باشد به تدریج با دور شدن از مرز دیواره، سرعت سیال رو به افزایش خواهد گذاشت و این روند افزایش تا سطح آب ادامه خواهد داشت البته در سطح آب به علت وجود اصطکاک جریان با هوا اندکی از سرعت جریان کاسته خواهد شد بنابراین می توان انتظار داشت که در مسیرهای مستقیم پروفیل سرعت به شکل لگاریتمی باشد. در مسیرهای قوسی شکل به علت خاصیت سه بعدی الگوی جریان و وجود جریان های عرضی و رشد جریان ثانویه پروفیل های سرعت دچار تغییرات خواهند شد. با پیشروی در قوس حداکثر سرعت به سمت لایه های پایین تر حرکت

دو آبشکن را پوشش دهد انتخاب و پروفیل سرعت طولی جریان در نقاط مختلف آنها استخراج گردید. در شکل ۴ موقعیت مقاطع انتخابی شده نشان داده شده است.

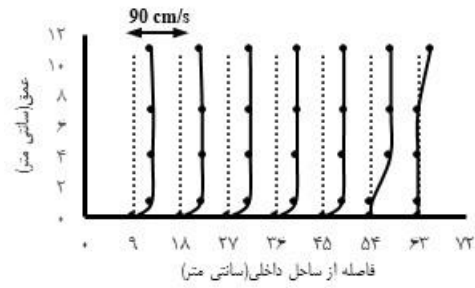
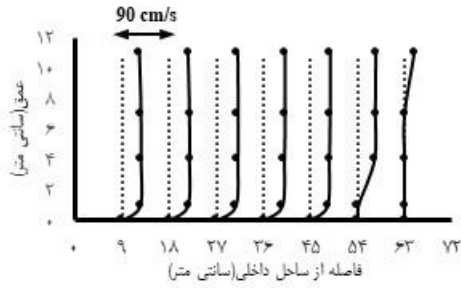
خواهد کرد. حرکت حداکثر سرعت به سمت لایه های پایین تر در اثر ایجاد جریان حلزونی شکل و تاثیر آن بر روی جریان اصلی خواهد بود. از بین مقاطع آزمایشگاهی که اندازه گیری مشخصات جریان در آنها انجام گردید، ۴ مقطع که هر یک از آنها محدوده بین



شکل (۴): موقعیت مقاطع انتخابی جهت مقایسه مولفه های سرعت طولی

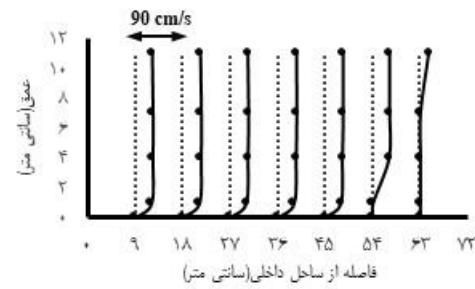
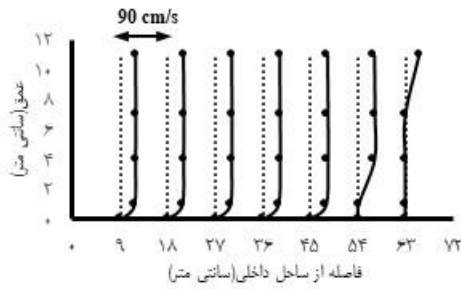
بلافاصله بعد از قوس شماره ۱ وارد نیمه اول قوس شماره ۲ می شود و مجدداً سرعت بیشینه، به دیواره داخلی نیمه اول قوس شماره ۲ متمایل می شود و با پیشروی در نیمه اول قوس شماره ۲ و افزایش نیروی گریز از مرکز، حداکثر سرعت به تدریج از دیواره داخلی فاصله گرفته و به نحوی که در قسمت ابتدایی نیمه دوم قوس شماره ۲، سرعت بیشینه با قدرت یافتن جریان ثانویه و شکل گیری جریان حلزونی در مقاطع شماره ۱ و ۲، از دیواره داخلی نیمه دوم قوس شماره ۲ فاصله گرفته و در فاصله ۲۷ سانتی متری از دیواره داخلی قرار می گیرد.

در شکل های ۵ تا ۷ نتایج آزمایش شاهد (عدم حضور آبشکن) مربوط به مولفه های سرعت طولی جریان در نقاط مختلف هریک از مقاطع عرضی منتخب برای دبی های ۳۰، ۳۵ و ۴۰ لیتر بر ثانیه نشان داده شده است. در شکل های ۵ (الف و ب) تا ۷ (الف و ب) مشاهده می شود که سرعت طولی بیشینه در فاصله ۲۷ سانتی متری از دیواره داخلی می باشد. علت این امر به تقابل نیروی گریز از مرکز و گرادیان فشار طولی بر می گردد. در ابتدای کانال که هنوز جریان در مسیر مستقیم قرار دارد عملاً نیروی گریز از مرکز که تابعی از شعاع قوس است وجود ندارد و گرادیان فشار طولی بر نیروی گریز از مرکز غالب است و سرعت طولی بیشینه به سمت دیواره داخلی قوس شماره ۱ کشیده می شود. وقتی که جریان وارد قوس شماره ۱ می شود، به تدریج نیروی گریز از مرکز افزایش می یابد و سرعت بیشینه از دیواره داخلی قوس شماره ۱ فاصله گرفته و به سمت بخش میانی تا دیواره خارجی قوس شماره ۱ هدایت می شود. جریان



ب

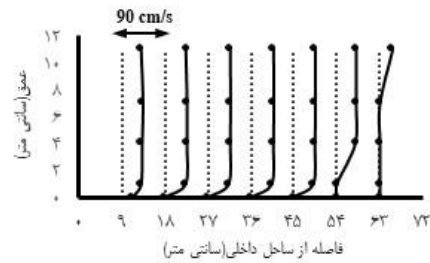
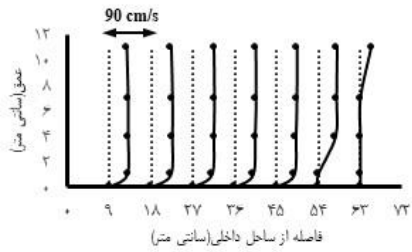
الف



د

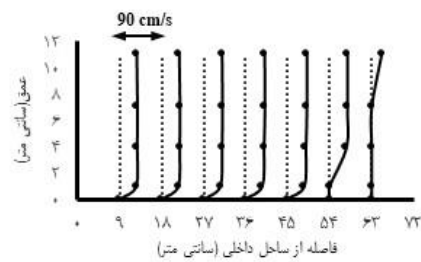
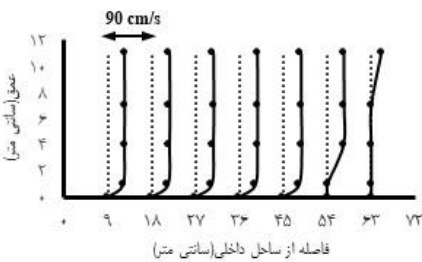
ج

شکل (۵): مقایسه سرعت‌های طولی در مقاطع عرضی مختلف در شرایط عدم حضور آبشکن در دبی 30 Lit/s (الف) (ب) 6.25 درجه، (ج) 18.75 درجه، (د) 31.25 درجه، (ه) 43.75 درجه.



ب

الف



د

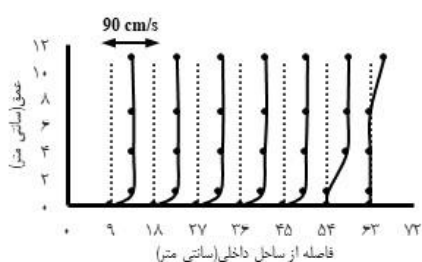
ج

شکل (۶): مقایسه سرعت‌های طولی در مقاطع عرضی مختلف در شرایط عدم حضور آبشکن در دبی 35 Lit/s (الف) (ب) 6.25 درجه، (ج) 18.75 درجه، (د) 31.25 درجه، (ه) 43.75 درجه.

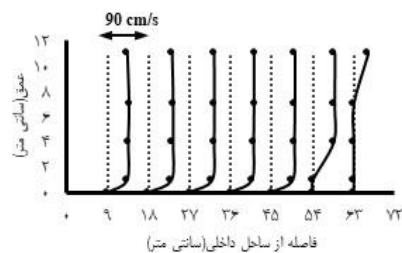


بر ثانیه محل وقوع حداکثر سرعت (۴۵ سانتی متری از دیواره داخلی) در مقطع شماره ۴ نسبت به مقطع شماره ۳ بدون تغییر است. زیرا با توجه به پروفیل های سرعت در مقاطع شماره ۳ و ۴ در نیمه دوم قوس، جریان در این ناحیه توسعه یافته و تغییر چندانی در مقادیر سرعت بین دو مقطع عرضی متوالی وجود ندارد. با پیشروی به سمت قوس شماره ۳ می توان مشاهده نمود که سرعت در نزدیکی دیواره داخلی افزایش یافته است. مشابه ورودی قوس، علت این پدیده تاثیر گرادیان طولی فشار می باشد که در این قسمت از میدان، در امتداد دیواره داخلی گرادیان طولی منفی و در امتداد دیواره خارجی گرادیان طولی مثبت حاکم می باشد. در نتیجه، دو عامل جریان ثانویه و گرادیان طولی فشار در این حالت به عنوان عوامل همسو عمل کرده و باعث افزایش بیشتر سرعت در ناحیه نزدیک دیواره داخلی قوس شماره ۳ می شود.

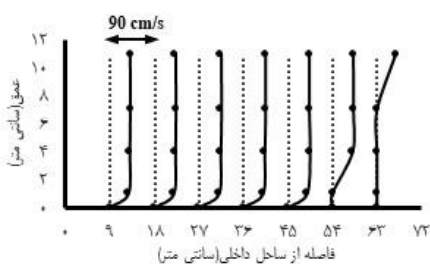
بر اساس شکل های ۵(ج و د) و ۶(ج و د) در دبی های ۳۰ و ۳۵ به خوبی قابل مشاهده است که با پیشروی جریان به سمت پایین دست و افزایش دبی، موقعیت سرعت بیشینه تغییر می کند. به طوریکه در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه در مقاطع شماره ۳ و ۴ سرعت طولی بیشینه به ترتیب در فواصل ۲۷ و ۳۶ سانتی متری از ساحل داخلی قرار گرفته و تا انتهای نیمه دوم قوس شماره ۲ این روند ادامه خواهد داشت. در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه مشاهده می شود که سرعت طولی بیشینه در فاصله ۳۶ و ۴۵ سانتی متری از دیواره داخلی می باشد. که در مقایسه با شکل ۵(ج و د) در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه سرعت بیشینه در مقاطع شماره ۳ و ۴ در فاصله دورتری نسبت به دیواره داخلی قرار گرفته است. علت این پدیده را می توان شکل گیری سریعتر جریان ثانویه، افزایش قدرت جریان ثانویه و غلبه آن بر گرادیان فشار طولی نسبت به دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه دانست. همان طور که در شکل ۷(ج و د) مشاهده می شود در دبی ۴۰ لیتر



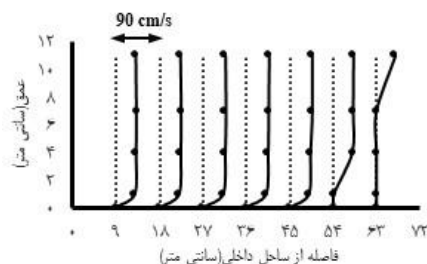
ب



الف



د



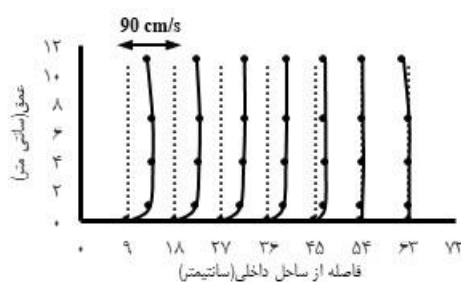
ج

شکل (۷): مقایسه سرعت های طولی در مقاطع عرضی مختلف در شرایط عدم حضور آبشکن در دبی 40 Lit/s ، الف، ب 6.25 درجه، ج 18.75 درجه، د 31.25 درجه، ه 43.75 درجه.

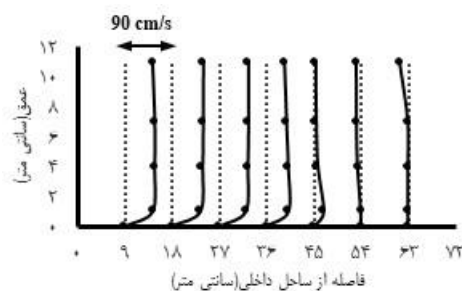
تأثیر آبشکن ها بر موقعیت سرعت طول

نتایج آزمایشگاهی مربوط به مولفه های سرعت طولی جریان در مقاطع عرضی مختلف با حضور آبشکن در دبی های مختلف در شکل های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده اند. در شکل های ۸ (الف) تا ۱۰ (الف) مشاهده می شود که موقعیت سرعت طولی بیشینه در فاصله ۱۸ سانتی متری از دیواره داخلی می باشد. در شکل های ۸ (ب) تا ۱۰ (ب) مشاهده می شود که موقعیت سرعت طولی بیشینه از فاصله ۱۸ سانتی متری به فاصله ۹ سانتی متری از قوس داخلی رسیده است. در شکل های ۸ (ج)

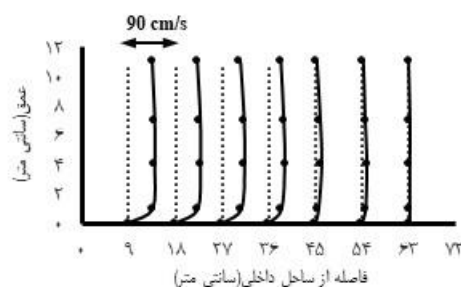
و د) تا ۱۰ (ج و د) مشاهده می شود که سرعت طولی بیشینه در فاصله ۹ سانتی متری از دیواره داخلی قوس شماره ۲ می باشد. این مطلب بیانگر این است که سازه آبشکن به عنوان مانعی در مقابل جریان عمل کرده و برخلاف حالت شاهد با پیشروی جریان به سمت پایین دست سرعت بیشینه به سمت دیواره داخلی قوس شماره ۲ انتقال یافته است. که نتایج مذکور با نتایج تحقیق شاکر و کاشفی پور (۲۰۱۴) در مورد انتقال ناحیه پرسرعت از دیواره خارجی به سمت میانه کانال و دیواره داخلی مطابقت دارد



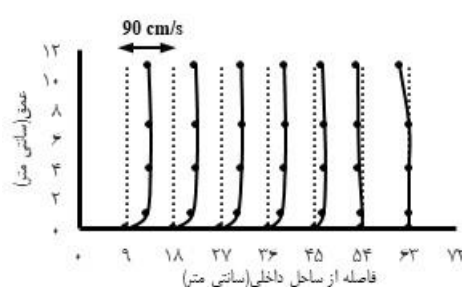
ب



الف



د



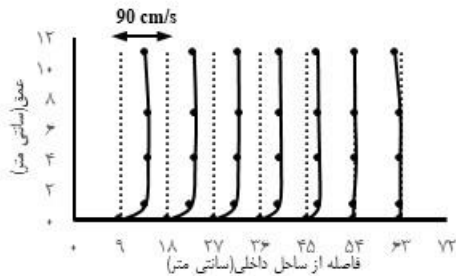
ج

شکل (۸): مقایسه سرعت های طولی در مقاطع عرضی مختلف در شرایط حضور آبشکن در دبی 30 Lit/s (الف)، 6.25 (ب)، 18.75 (ج) و 31.25 (د) درجه درجه.

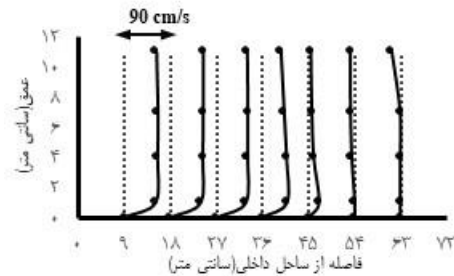
لیتر بر ثانیه به ترتیب برابر $40/9$ ، $46/9$ و $52/8$ سانتیمتر بر ثانیه است. با قرار دادن آبشکن ها، سرعت بیشینه در محدوده بین آبشکن ها در مجاورت دیواره خارجی، در دبی های 30 ، 35 و 40 لیتر بر ثانیه به ترتیب برابر $20/5$ ، $22/1$ و $23/7$ سانتی متر بر ثانیه است. به نظر می رسد حضور آبشکن در قوس باعث

در شکل های ۵ تا ۱۰ با مقایسه ی مقادیر حداکثر سرعت طولی در مجاورت دیواره خارجی در شرایط حضور و عدم حضور آبشکن ساده در مقاطع و دبی های مختلف مشخص شد که در شرایط عدم حضور آبشکن ساده، سرعت بیشینه در فواصل 54 و 63 سانتیمتری عرض کانال از دیواره داخلی در دبی های 30 ، 35 و 40

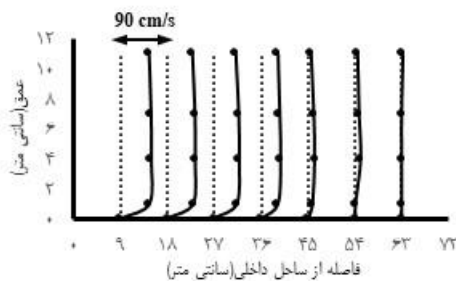
انحراف جریان به سمت دیواره قوس داخلی و در نتیجه کاهش سرعت در دیواره خارجی و افزایش سرعت در دیواره داخلی شده است.



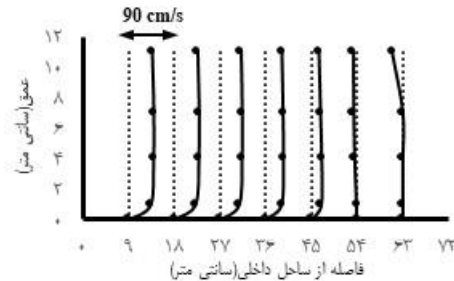
ب



الف

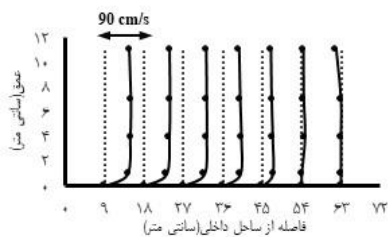


د

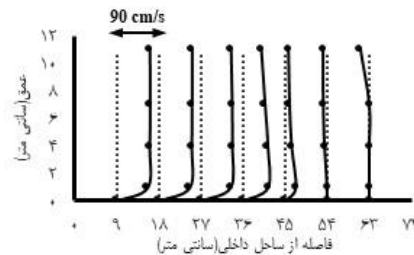


ج

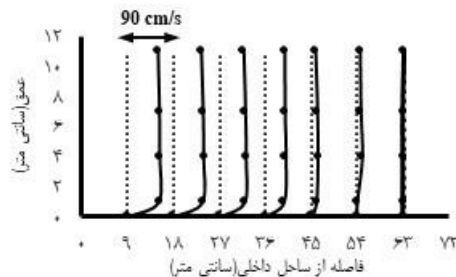
شکل (۹): مقایسه سرعت‌های طولی در مقاطع عرضی مختلف در شرایط حضور آبشکن در دبی 35 Lit/s (الف) 6.25 درجه، (ب) 18.75 درجه، (ج) 31.25 درجه، (د) 43.75 درجه.



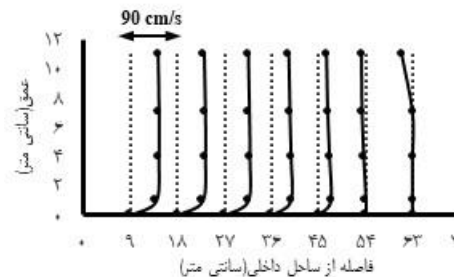
ب



الف



د



ج

شکل (۱۰): مقایسه سرعت‌های طولی در مقاطع عرضی مختلف در شرایط حضور آبشکن در دبی 40 Lit/s (الف) 6.25 درجه، (ب) 18.75 درجه، (ج) 31.25 درجه، (د) 43.75 درجه.

تا پنجم صورت گیرد. به عبارتی در شرایط استفاده از آبشکن های سری ساده، در نیمه دوم دیواره خارجی قوس شماره ۲، محدوده بین آبشکن های سوم و چهارم نسبت به دیگر آبشکن ها از عملکرد مناسبی برخوردار نبوده است. بنابراین بخش انتهایی دیواره خارجی قوس در محدوده بین آبشکن سوم و چهارم به طور مطلوبی حفاظت نشده است. که علت این امر را می توان عدم کاهش قابل توجه سرعت حداکثر جریان در محدوده بین آبشکن سوم و چهارم دانست. با این وجود برای تمامی دبی ها، در نتیجه وجود آبشکن های سوم تا پنجم به طور متوسط حدود $58/6$ درصد سرعت جریان در دیواره خارجی قوس شماره ۲ کاهش یافته است. در نهایت نتایج آزمایشگاهی نشان داد که فرسایش کناره قابل توجهی که در شرایط عدم حضور آبشکن مشاهده گردید با قرار دادن آبشکن ها، کاهش یافته است. بررسی ها نشان داد که با افزایش دبی جریان، آبشکن های سری ساده نقش موثری در کاهش سرعت جریان در قوس خارجی دارند. به طوریکه با افزایش ۳۳ درصدی دبی جریان، کاهش متوسط سرعت جریان در قوس خارجی نسبت به عدم حضور آبشکن ها از حدود $59/9$ درصد به $64/8$ درصد تغییر نموده است

همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می گردد به طور متوسط برای کلیه دبی های مورد آزمایش، در محدوده بین دو آبشکن اول و دوم حدود $58/2$ درصد، بین دوم و سوم $74/0$ درصد، بین سوم و چهارم $46/4$ درصد و بین چهارم و پنجم حدود $70/8$ درصد حداکثر سرعت طولی جریان در نزدیکی دیواره خارجی نیمه دوم قوس شماره ۲ نسبت به حالت عدم حضور آبشکن کاهش یافته است. به عبارتی به طور متوسط برای تمامی دبی ها، در محدوده بین آبشکن دوم و سوم بیشترین و محدوده بین دو آبشکن سوم و چهارم کمترین کاهش سرعت را در نزدیکی دیواره خارجی تجربه نموده است. در آزمایش شاهد مشخص گردید که بیشترین فرسایش کناره در انتهای دیواره خارجی قوس شماره ۲ صورت گرفته است. با انطباق موقعیت بیشترین فرسایش کناره رخ داده در شرایط بدون آبشکن بر روی مدل آزمایشگاهی با آبشکن مشخص گردید که بیشترین فرسایش رخ داده در محدوده آبشکن سوم تا پنجم رخ داده است. بنابراین هدف از بکارگیری آبشکن های سری حفاظت مناسب تر دیواره خارجی قوس در محدوده آبشکن های سوم تا پنجم می باشد. که این شرایط نیز می بایست با کاهش قابل توجه سرعت جریان در محدوده آبشکن سوم

جدول (۱): مقایسه مقادیر حداکثر سرعت های طولی در شرایط حضور و عدم حضور آبشکن در نزدیکی دیواره خارجی

دبی (لیتر بر ثانیه)	شرایط آزمایش	حداکثر سرعت جریان بین آبشکن اول و دوم (cm/s)	حداکثر سرعت جریان بین آبشکن دوم و سوم (cm/s)	حداکثر سرعت جریان بین آبشکن سوم و چهارم (cm/s)	حداکثر سرعت جریان بین آبشکن چهارم و پنجم (cm/s)
30	حضور آبشکن	17.9	10.7	20.5	10.8
	عدم حضور آبشکن	40.9	38.9	36.0	33.8
	درصد کاهش سرعت	56.2	72.4	43.0	68.0
35	حضور آبشکن	19.5	11.6	22.1	11.4
	عدم حضور آبشکن	46.9	44.7	41.4	38.5
	درصد کاهش سرعت	58.4	74.0	46.6	70.3
40	حضور آبشکن	21.1	12.4	23.7	12.0
	عدم حضور آبشکن	52.8	50.6	47.1	46.3
	درصد کاهش سرعت	60.0	75.4	49.6	74.0

نتیجه گیری

دبی جریان، آبشکن های سری ساده نقش موثری در کاهش سرعت جریان در قوس خارجی دارند. به طوریکه با افزایش ۳۳ درصدی دبی، کاهش متوسط سرعت جریان در قوس خارجی نسبت به عدم حضور آبشکن ها از حدود ۵۹/۹ درصد به ۶۴/۸ درصد تغییر نموده است. مقایسه مقادیر حداکثر سرعت های طولی در شرایط حضور و عدم حضور آبشکن در نزدیکی دیواره خارجی نشان داد که به طور متوسط برای کلیه دبی های آزمایش، در محدوده بین آبشکن دوم و سوم بیشترین و محدوده بین دو آبشکن سوم و چهارم کمترین کاهش سرعت را در نزدیکی دیواره خارجی تجربه نموده است. با توجه به اینکه در محدوده بین آبشکن های سوم و چهارم سرعت جریان به دلیل انحراف بیشتر خطوط جریان به داخل محدوده کاهش کمتری نسبت به دیگر بازه ها تجربه نموده است. توصیه می شود از آبشکن هایی استفاده گردد که بتواند در دفع خطوط جریان ورودی به داخل محدوده بین دو آبشکن موثر باشند. که یکی از پرکاربردترین آن ها استفاده از آبشکن T شکل است.

در این پژوهش، به بررسی موقعیت سرعت طولی بیشینه در شرایط حضور و عدم حضور آبشکن های سری ساده در کانال پیچان رودی با دیواره شیب دار فرسایش پذیر پرداخته شد. بدین منظور، سرعت طولی جریان در مقاطع مختلف ارائه گردید. آبشکن ها به صورت سری در نیمه دوم قوس شماره ۲ و بخشی از قوس شماره ۳ جانمایی شد. جهت مقایسه نحوه عملکرد آبشکن ها، آزمایش ها ابتدا در حالت بدون حضور آبشکن در سه دبی مختلف انجام شد. نتایج بررسی های انجام شده بیانگر این است که در حالت عدم حضور آبشکن برای تمامی دبی ها در مقاطع شماره ۱ و ۲ سرعت بیشینه در فاصله ۲۷ سانتی متری عرض کانال از دیواره داخلی قرار گرفته است. بررسی تغییرات سرعت طولی در مقاطع مختلف در حالت حضور آبشکن بر خلاف حالت عدم حضور نشان داد که سرعت بیشینه، به علت تنگ شدن مقطع ناشی از وجود آبشکن، به سمت دیواره داخلی قوس انتقال یافته است. بررسی ها نشان داد که با افزایش



منابع

- فتحی، م.، ا. هنر بخش و م. رستمی. ۱۳۹۱. شبیه سازی الگوی جریان در رودخانه های پیچان رودی با استفاده از مدل عددی CCHE-2D. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۶، شماره ۱۹، ص ۵۹-۶۶.
- نیکنام، ا. غ. خسروی، ا. نوحه گر و ا. حلی ساز. ۱۳۹۶. شبیه سازی الگوی جریان در یک بازه پیچان رود طبیعی با استفاده از مدل هیدرودینامیکی CCHE2D (مطالعه موردی: پیچان رودهای بالادست سد درودزن). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره ۸، شماره ۱۶، ص ۶۵-۷۶.
- Aezzi, S., M. J. Khanjani and M. Zounemat Kermani. 2018. Two Dimensional Simulation of Flow pattern and Bed Changes in Straight and Meandering Channels under the Effect of Spur Dike, Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 12(4): 970-981.
- Arman, A., J. Zahiri, P. Fatahi and S. Ghanbari. 2017. Comparison and Simulation of Flow Pattern in a 90 Degree Mild Bend Using CCHE2D and SRH-2D Models, Journal of Civil and Environmental Engineering University of Tabriz, 47(1):11-19.
- Ettema, R and M. Muste. 2004. Scale effects in flume experiments on flow around a spur dike in flat bed channel. Journal of Hydraulic Engineering, 130(7): 635-646.
- Iranshahi, M., M. Ghodsian and M. Vaghefi. 2016. Flow field and scouring around series of triplex spur dikes in sharp bend. Modares Civil Engineering Journal, 16(3): 1-12.
- Jamieson, E. C., C. D. Rennie and R. D. Townsend. 2013. 3D Flow and Sediment Dynamics in a Laboratory Channel Bend with and without Stream Barbs. J. Hydr. Engin. 139: 154-166.
- Keshavarzi, A. R., M. Valizadeh and J. Ball. 2010. Experimental Study of the Effects of Submerged Dikes on the Energy and Momentum Coefficients in Compound Channel. J. Sci. Res. Engin, 2(11): 855-862.
- Koken, M and G. Constantinescu. 2008. An investigation of the flow and scour mechanisms around isolated spur dikes in a shallow open channel: 2. Conditions corresponding to the final stages of the erosion and deposition process. Water Resources Research, 44(8): 1-16.
- Kumar, T., D. Tyagi, L. Aggarwal and M. Kumar. 2018. Comparison of scour around different shapes of groynes in open channel. International Journal of Recent Trends in Engineering and Research, 4(3) : 382-392.
- Lee, K. S and C.L. Jang. 2016. Numerical investigation of space effects of serial spur dikes on flow and bed changes by using Nays2D. Journal of Korea Water Resources Association, 49(3): 241-252.
- Mousavi Naeini, S. A., M. Vaghefi and M. Ghodsian. 2010. Experimental investigation of relative radius on flow pattern around a T shape spur dike in 90 degree bend with rigid bed. Bimonthly Journal of Water and Wastewater, 23(1): 15-23.
- Perzedwojski, B., R. Blazejewski and K.W. Pilarczyk. 1995. River training techniques: Fundamental, design and Application. A. A. Balkema. Rotterdam, the Netherlands.
- Shaker, E and S. kashefipour. 2014. Experimental Investigation on Velocity and Shear Stress Distributions in a 90-Degree Bend With and Without Series of Groynes. Water and Soil Science, 24(3), 55-68.
- Vaghefi, M., M. Ghodsian and M. Akbari. 2017. Experimental investigation on 3D flow around a single Tshaped spur dike in a bend. Period. Polytech. Civil Eng, 61(3): 462-470.



Vaghefi, M., B. Faraji, M. Akbari and A. Eghbalzadeh. 2018. Numerical investigation of flow pattern around a T-shaped spur dike in the vicinity of attractive and repelling protective structures. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(2): 93-108.

Xiufang, Z., M. Pingyi and Y. Chengyu. 2012. Experimental study on flow turbulence distribution around a spur dike with different structure. *Procedia Engineering*, 28(5): 772-775.

Yazdi, J., H. Sarkardeh, H. M. Azamathulla and A. A. Ghani. 2010. 3D simulation of flow around a single spur dike with free-surface flow. *Int J River Basin Manage.* 8: 55-6.

Zhang, H., H. Nakagawa, K. Kawaike and Y. Baba. 2009. "Experiment and simulation of turbulent flow in local scour around a spur dike", *International Journal of Sediment Research*, 24(1): 33-45.



Experimental study of Longitudinal Components of Velocity Around Simple Series Spur Dikes

Pedram.Esmaeli¹, Seyamak.Boudaghpour², Mohammad.Rostami^{3*}, Mehdi.Mirzaee⁴

Abstract

Generally, due to the presence secondary flows in the curvature of the river, the outer wall in the bend is always subjected to degradation and erosion. These streams divert the surface flow lines towards the outer wall and the flow lines close to the substrate to the inner wall. Therefore, studying the flow in the meandering channels in order to prevent erosion is of particular importance. One of the simplest, yet most economic methods to cope with outer wall erosion is the use of spur dike. For this purpose, in this laboratory study, the effect of the presence and absence of series spur dikes on longitudinal velocity components in a channel meandering with sloped erodible wall is investigated. The results showed that the presence of simple series spur dikes cause reduced the flow velocity in the outer wall of the bend. Therefore, the average highest velocity reduction between the second and third spur dikes and the lowest velocity reduction between the third and fourth spur dikes was performed. Also, the studies showed that with the increase of 33% of the discharge, about 5% were added to the performance of the spur dikes in reducing the flow velocity in the outer wall of bend.

Keyword: Experimental Study, Longitudinal Velocity, Meandering Channel, Series Spur Dikes

1- Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran ,Iran

2- Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology , Tehran, Iran

3- Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

4- Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch , Islamic Azad University, Tehran ,Iran

(*- Corresponding Author Email: Rostami@scwmri.ac.ir)