

الگوی جریان در کانال قوسی با آبشکن سرسپری جاذب و دافع مستغرق با مدل SSIIM

پریسا رادان^۱ و محمد واقفی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۹

چکیده

در این مطالعه الگوی جریان با تغییر درصد استغراق آبشکن (۰، ۱۵ و ۲۵ درصد عمق آب در ورودی کانال) در حالت آبشکن‌های جاذب و دافع (با انحراف ۳۰ درجه نسبت به جریان) بررسی شد. جهت مدل‌سازی از نرم‌افزار SSIIM بهره گرفته شد. در این مطالعه خطوط جریان، قدرت جریان ثانویه، ناحیه و اتصال مجدد جریان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج عددی و آزمایشگاهی با هم مقایسه شده و این مقایسه نشان داد که نتایج عددی از تطابق نسبی خوبی با نتایج آزمایشگاهی برخوردار است. نتایج نشان داد با افزایش درصد استغراق مقدار جهش‌دار مقادیر قدرت جریان ثانویه در حالت دافع کاهش و در حالت جاذب افزایش می‌یابد. علاوه بر این، در حالت دافع نسبت به حالت جاذب خطوط جریان در بالادست آبشکن بیش‌تر منحرف می‌شوند.

واژه های کلیدی: الگوی جریان، آبشکن سرسپری، جاذب و دافع، درصد استغراق، مدل عددی SSIIM

مقدمه

امروزه استفاده از رودخانه‌ها و منابع آب مدیریت و تدابیر خاصی را می‌طلبد از این رو بحث ساماندهی رودخانه‌ها مورد توجه است. در ساماندهی رودخانه خواص مورفولوژیکی رودخانه مورد توجه قرار می‌گیرد و اشکال مختلف رودخانه‌ها نیازمند روش‌های متفاوتی جهت ساماندهی می‌باشد. در ساماندهی رودخانه باید به مسائل اقتصادی، خصوصیات محیطی و بومی، مسائل زیست‌شناسی، نحوه و مدت زمان اجرا و بهره‌برداری توجه شود. عدم توجه به این مسائل سبب خسارات جبران‌ناپذیری می‌شود. امروزه تلاش محققین در افزایش دانش و بهبود پیشبرد طرح‌های ساماندهی رودخانه است. یکی از روش‌های ساماندهی رودخانه استفاده از آبشکن‌هاست. بلانکارت و گرافیه بررسی الگوی جریان و آشفتگی در کانال انحنادار پرداختند. آن‌ها مشاهده کردند که حداکثر سرعت در نزدیکی بستر مشاهده می‌شود و یک جریان چرخشی مرکزی وجود دارد. علاوه بر این یک جریان چرخشی دیگر در خلاف جهت این جریان در نزدیکی قوس بیرونی وجود دارد و حداکثر سرعت در مرز این دو سلول چرخشی است (Blanckear and Grraf., 2001). گراف و ایستیار توبه بررسی میدان جریان سه بعدی و نقش گردابه‌ها در تشکیل حفره آبشستگی

اطراف پایه‌های استوانه‌ای پرداختند (Grafand Istiarto., 2002). تنگ و همکاران به بررسی قدرت جریان ثانویه در اطراف آبشکن‌های ساده مستقر در مسیر مستقیم با استفاده از شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ پرداختند (Tang et al., 2006). فرقانی و همکاران به اندازه‌گیری آزمایشگاهی دو بعدی سرعت پیرامون آبشکن‌های منفرد مستقر در قوس ۹۰ درجه پرداختند (Forghani et al., 2007). فضلی و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی و الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه پرداختند. آزمایشات ایشان برای موقعیت‌ها و هم‌چنین طول‌های مختلف آبشکن و هم‌چنین دبی‌های گوناگون انجام شد و نتیجه گرفتند که با افزایش فاصله موقعیت آبشکن از ابتدای قوس، ناحیه بازگشتی قبل از آبشکن افزایش و ناحیه ایستایی بعد از آن کاهش می‌یابد (Fazli et al., 2008). ژانگ و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی جریان متلاطم حول آبشکن غیر مستغرق پرداختند. ایشان جهت شبیه‌سازی الگوی جریان در منطقه آبشستگی از مدل $k-\epsilon$ استفاده کردند (Zhang et al., 2009). واقفی و همکاران به مطالعه هندسه چاله آبشستگی و نیز توپوگرافی بستر والگوی جریان حول آبشکن غیر مستغرق پرداختند و به این منظور اثر پارامترهایی مثل طول جان، طول بال و موقعیت آبشکن در قوس و نیز شعاع انحنای قوس را بر روی آبشستگی اطراف آبشکن مورد مطالعه قرار دادند (Vaghefi et al., 2009). ابهری و همکاران به مطالعه عددی و آزمایشگاهی مدل‌سازی جریان در قوس ۹۰ درجه پرداختند (Abhari et al., 2010). ابراهیم به بررسی تحقیق اثر آبشکن‌های جهت‌دار بر آبشستگی و روند رسوب‌گذاری در یک کانال

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر

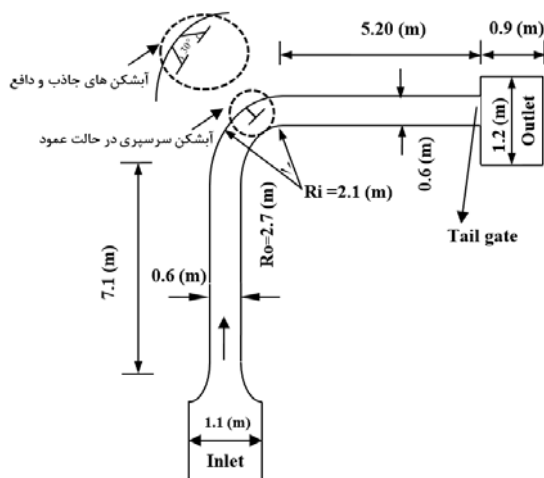
(Email: Vaghefi@pgu.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

و با چگالی ثابت، به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} (-P \delta_{ij} - \rho u_i u_j) \quad (1)$$

که در آن اولین ترم سمت چپ معادله، ترم گذرا و وابسته به زمان و ترم دومی عبارت انتقالی می‌باشد. هم‌چنین اولین عبارت سمت راست معادله، ترم فشار و دومین عبارت، ترم تنش‌های رینولدز می‌باشد که برای ارزیابی کردن این ترم یک مدل آشفته مورد نیاز است (Olsen., 2011).



شکل ۱- نمایش شماتیک کانال مورد مطالعه

صحت سنجی نتایج

جهت صحت‌سنجی مدل عددی از مدل آزمایشگاهی واقفی در حالت آبشکن عمودی غیر مستغرق استفاده شده است (Vaghefi et al., 2012) در شکل ۲ که پروفیل‌های عرضی بستر و سرعت طولی و عرضی در ترازهای مختلف و در دو مقطع نشان داده شده است، B عرض کانال و Z تراز ارتفاعی می‌باشد. در شکل (۲-الف و پ) که مقادیر سرعت‌ها در جهت طولی در دو مقطع ۴۴ و ۴۶/۵ درجه (بالادست و پایین دست آبشکن) و در شکل (۲-ب و ت) که مقادیر سرعت‌ها در جهت عرضی در همین مقاطع نشان داده است، مقدار و جهت سرعت‌ها در حالت عددی و آزمایشگاهی از تطابق خوبی برخوردار می‌باشد (به طور متوسط ۱۲ درصد خطا دارد). عدم انطباق کامل نتایج به دلیل تفاوت در جنس کار عددی و آزمایشگاهی و حساسیت زیاد کار آزمایشگاهی می‌باشد که به دلیل عدم حساسیت مطلق دستگاه‌های اندازه‌گیری و سختی برداشت نقاط در مناطق حساس مانند گوشه بال آبشکن در نتایج عددی و آزمایشگاهی تفاوت ایجاد می‌شود.

مستقیم پرداختند (Ibrahim., 2014). بصر و همکاران روشی جدید برای یافتن پارامترهای بهینه یک آبشکن محافظ برای کاهش آبشستگی در اطراف آبشکن اصلی یافتند (Basser et al., 2015) و واقفی و همکاران به مطالعه عددی تأثیر سازه محافظ بر الگوی جریان در اطراف آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه پرداختند (Vaghefi et al., 2015).

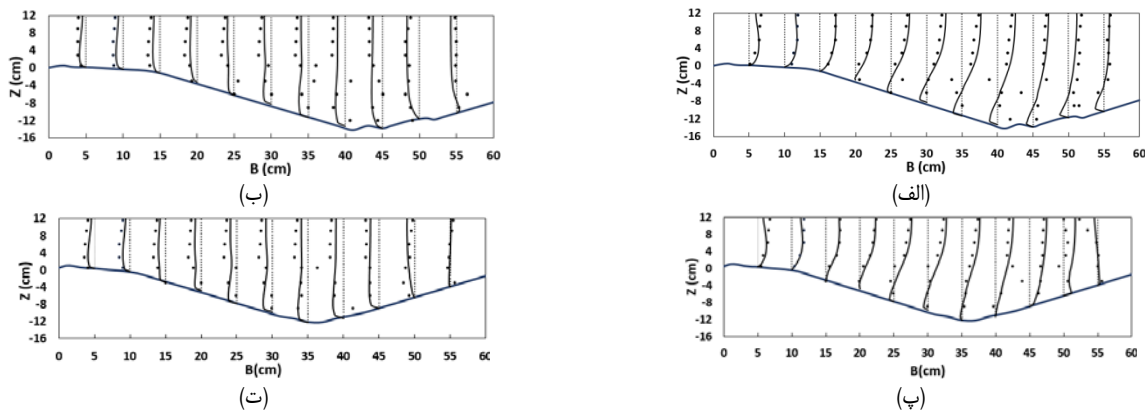
مطالعات انجام شده در گذشته در زمینه الگوی جریان، رسوب و سازه‌های محافظ راه را برای انجام تحقیقات بیشتر در زمینه‌های گسترده‌تری هموار می‌سازد. تاکنون بیش‌تر تحقیقات پیرامون آبشکن سرسپری در حالت عمودی و غیر مستغرق انجام شده است. در این تحقیق تأثیر استغراق آبشکن سرسپری در حالت جاذب و دافع بر الگوی جریان مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مشکلات کار آزمایشگاهی و بررسی همزمان چندین پارامتر، در این مطالعه از نرم افزار SSIIM که یکی از نرم افزارهای شناخته شده در زمینه الگوی جریان و رسوب است استفاده شده است.

معرفی مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه

مدل مورد مطالعه یک کانال قوسی شکل با زاویه ۹۰ درجه و با شعاع انحنای میانگین ۲/۴ متر واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس بود. عرض کانال ۰/۶ متر بوده که در بالادست کانال یک قسمت مستقیم به طول ۷/۱ متر و در پایین دست آن قسمت مستقیم دیگری به طول ۵/۲ متر قرار داشته و مقطع کانال نیز مستطیلی بوده است. برای در نظر گرفتن همزمان الگوی جریان و رسوب کف کانال از رسوباتی به ضخامت ۳۵ سانتی‌متر پوشیده شده که قطر متوسط ذرات ۱/۲۸ میلی‌متر بوده است. دبی جریان، ثابت و برابر با ۲۵ لیتر بر ثانیه، ارتفاع آب در قسمت ورودی کانال ۰/۱۲ متر و عدد فرود نیز ۰/۳۴ بوده است. آبشکن مورد استفاده در این تحقیق دارای پلان T شکل، طول جان و بال ۹ سانتی‌متر و ضخامت ۱ سانتی‌متر بود که در موقعیت ۴۵ درجه و ساحل خارجی قوس ۹۰ درجه نصب گردید. در این مطالعه از دو نوع آبشکن جاذب و دافع با انحراف ۳۰ درجه نسبت به جریان استفاده شده است. به‌منظور بررسی اثر استغراق آبشکن از ۳ درصد استغراق ۰، ۱۵ و ۲۵ درصد استفاده شده است. در نهایت ۶ مدل عددی با بررسی جاذب و دافع بودن و درصد استغراق آبشکن (۳×۲=۶) ایجاد شد.

معادلات حاکم

مدل عددی SSIIM برای محاسبه الگوی جریان، معادلات ناویر استوکس را برای جریان آشفته در یک شبکه سه بعدی حل می‌کند و جهت محاسبه تنش برشی آشفتگی، مدل $K - \epsilon$ مورد استفاده قرار می‌گیرد که معادلات ناویر استوکس برای یک جریان غیر قابل تراکم



شکل ۲- مقادیر سرعت به ترتیب در جهت طولی (50 cm/s) و عرضی (80 cm/s) در مقطع (الف) و (ب) ۴۴ درجه و (پ) و (ت) ۴۶/۵ درجه برای داده‌های عددی () و آزمایشگاهی ()

نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی

در ادامه به بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی در محیط نرم افزار SSIM تحت شرایط مورد نظر در این تحقیق پرداخته می‌شود.

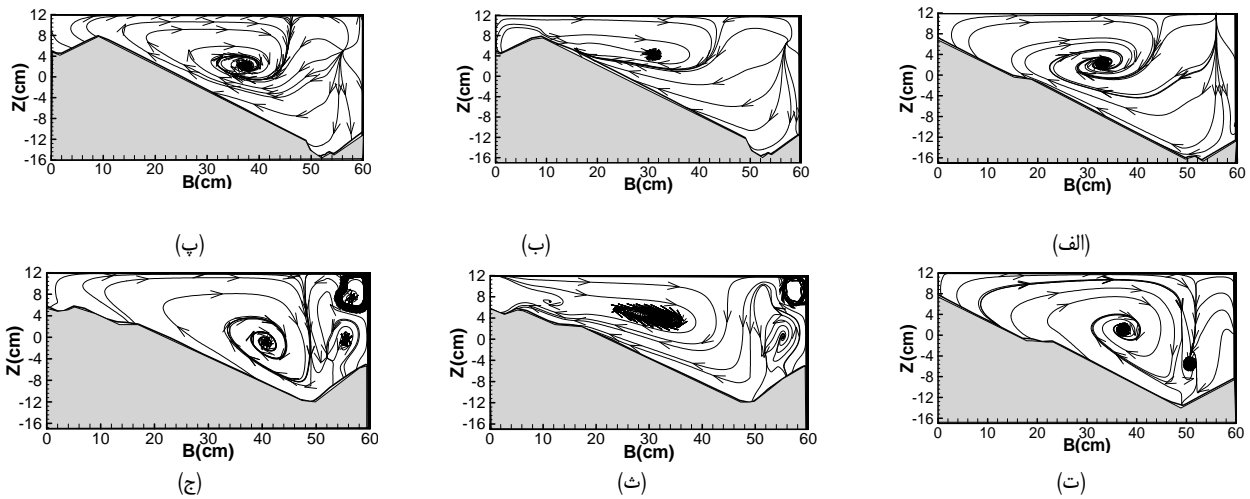
خطوط جریان در مقاطع عرضی کانال

در قوس رودخانه‌ها و در اثر نیروی گریز از مرکز و اندرکنش آن با گردان‌های جانبی فشار ناشی از شیب جانبی سطح آب، جریانی تشکیل می‌شود که به جریان ثانویه موسوم است. در این جریان، آب در سطح آزاد به طرف قوس خارجی رانده می‌شود و در نزدیکی بستر به سمت قوس داخلی حرکت می‌کند (شکل ۲-الف). در حالت قرارگیری آبشکن به صورت جاذب و در حالت غیر مستغرق در فواصل دور دست از بالادست آبشکن گردابه ناشی از جریان ثانویه در نزدیکی بستر و در میانه کانال در جهت ساعت گرد تشکیل می‌شود و سپس جریان ثانویه با قدرت بیش‌تری در کنار دیواره داخلی کانال هم جهت با جریان ثانویه ابتدایی تشکیل می‌شود. با نزدیک شدن به موقعیت آبشکن و در مقطع ۴۲ درجه جریان ثانویه ابتدایی به صورت کامل از بین رفته و جریان ثانویه به میانه کانال منتقل می‌شود. با عبور از آبشکن و در مقطع به فاصله ۱۰۰ درصد جان آبشکن در پایین دست آبشکن جریان ثانویه دیگری در خلاف جهت جریان ثانویه اصلی و در مجاورت ساحل خارجی تشکیل می‌شود که در پایین دست کانال به تدریج از میان رفته و جریان ثانویه اصلی در نزدیکی دیواره خارجی تا انتهای قوس ادامه می‌یابد. در حالت قرارگیری آبشکن جاذب با استغراق ۱۵ درصد با تشکیل شدن جریان ثانویه دوم در بالادست کانال در زاویه بیش‌تری نسبت به حالت غیر مستغرق جریان ثانویه ابتدایی از بین رفته و جریان ثانویه اصلی به میانه کانال منتقل شده و با عبور از آبشکن جریان ثانویه دیگری در خلاف جهت جریان ثانویه

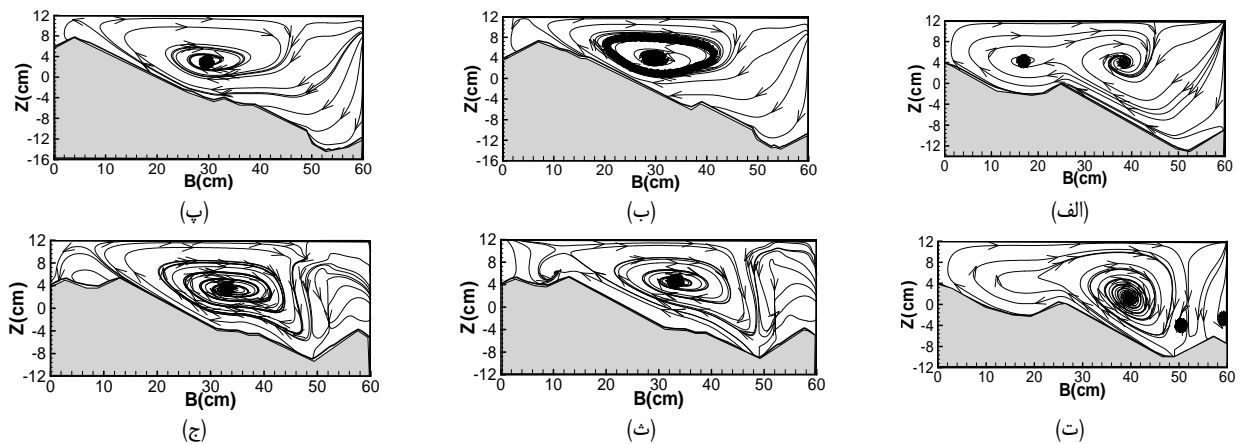
اصلی در مجاورت ساحل خارجی و در نزدیکی سطح آب با قدرت بیش‌تری ادامه می‌یابد. در انتهای قوس با از بین رفتن این جریان، جریان ثانویه اصلی متمایل به شیب بستر در کناره ساحل خارجی با فاصله کم‌تر مرکز گردابه نسبت به بستر کانال نسبت به مقطع مشابه در حالت غیر مستغرق ادامه می‌یابد. در حالت استغراق ۲۵ درصد جریان ثانویه روند مشابهی با حالت استغراق ۱۵ درصد مشاهده می‌شود. در بالادست آبشکن نیز که علاوه بر جریان ثانویه اصلی جریان ثانویه دیگری هم جهت با جریان ثانویه ابتدایی شکل می‌گیرد با افزایش درصد استغراق در فاصله بیش‌تری از ابتدای قوس شکل می‌گیرد که در هر دو حالت از زاویه حدوداً ۳۰ درجه از میان می‌رود. در شکل ۳ به بررسی خطوط جریان در مجاورت بال در بالادست و پایین دست آبشکن جاذب پرداخته شده است (۰/۹۲ و ۰/۰۸ طول بال به ترتیب در بالادست و پایین دست نسبت به موقعیت آبشکن). در این اشکال تفاوت خطوط جریان در مجاورت بال آبشکن در درصدهای استغراق متفاوت آبشکن مشاهده می‌شود. در این شکل در پایین دست آبشکن علاوه بر جریان ثانویه اصلی، جریان‌های ثانویه فرعی در مجاورت ساحل خارجی تشکیل می‌شود. جریان ثانویه فرعی که در نزدیکی بستر در خلاف جهت جریان ثانویه اصلی تشکیل می‌شود و به جریان نعل اسبی موسوم می‌باشد در حالت غیر مستغرق نیز مشاهده می‌شود که نمونه‌ای از آن در شکل (۳-ت و ۳-ث) در حالت‌های مستغرق و غیر مستغرق نشان داده شده است. جریان ثانویه فرعی که هم جهت با جریان ثانویه اصلی می‌باشد (شکل ۳-ث) در نزدیکی سطح جریان تشکیل می‌شود که با افزایش درصد استغراق آبشکن قدرت جریان‌های ثانویه که هم جهت با یکدیگر می‌باشند افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود که در محل احداث آبشکن مؤلفه‌های نزدیک بستر از قدرت بالاتری نسبت به مؤلفه‌های ترازهای بالاتر برخوردار می‌باشند. دلیل تشکیل جریان ثانویه در این مقطع

جریان ثانویه اصلی تا انتهای قوس ادامه می‌یابد. در حالت مستغرق نیز در ابتدا جریان ثانویه در نزدیکی قوس خارجی تشکیل شده و سپس به کناره قوس داخلی متمایل می‌شود و با عبور از آبشکن جریان ثانویه فرعی در خلاف جهت جریان ثانویه اصلی در نزدیکی سطح جریان تشکیل شده و در استغراق ۲۵ درصد در فاصله بیش تری از پایین دست آبشکن و در مقطع حدوداً ۵۰ درجه تشکیل می‌شود و در حالت استغراق ۲۵ درصد در مقطع حدوداً ۶۰ درجه ناپدید شده ولی در حالت استغراق ۱۵ درصد تا انتهای قوس ادامه می‌یابد. جریان ثانویه اصلی نیز تا انتهای قوس ادامه پیدا می‌کند. در شکل ۴ به بررسی خطوط جریان در مجاورت بال آبشکن و در حالت قرارگیری آن به صورت دافع پرداخته شده است (۰/۹۲ و ۰/۰۸ طول بال به ترتیب در بالادست و پایین دست از موقعیت آبشکن).

انحراف سرعت‌های ماکزیمم در سطح آب به سمت دماغه آبشکن و عمل نمودن آبشکن به عنوان یک دیواره خارجی می‌باشد. در مقاطع ۴۰ و ۵۰ درجه در بالادست و پایین دست آبشکن جریان ثانویه ضعیفی در مجاورت دیواره خارجی تشکیل می‌شود که دلیل این جریان‌های ثانویه ضعیف تشکیل جریان‌های گردابه‌ای در بالادست و پایین دست آبشکن می‌باشد که این امر موجب حرکت ناچیز عرضی ذرات به سمت دیواره خارجی می‌باشد. در حالت قرارگیری آبشکن به صورت دافع و در حالت غیر مستغرق آبشکن جریان ثانویه با فشردگی خطوط جریان در کناره دیواره داخلی و در نزدیکی بستر شکل گرفته و با حرکت به سمت پایین دست کانال جریان ثانویه دیگری به موازات و هم جهت با آن تشکیل شده که در نزدیکی آبشکن از میان می‌رود و با عبور از آبشکن جریان ثانویه فرعی در خلاف جهت جریان ثانویه ابتدایی تشکیل شده که در مقطع حدود ۶۰ درجه از میان رفته و



شکل ۳- خطوط جریان در مقطع عرضی به فاصله ۰/۰۸ برابر طول بال از بالادست آبشکن جاذب در حالت استغراق (الف)، ۰ (ب) و ۱۵ (ج) و ۲۵ درصد در مقطع به فاصله ۰/۹۲ طول بال از پایین دست آبشکن در حالت استغراق (ت)، ۰ (ث) و ۱۵ (ج) و ۲۵ درصد



شکل ۴- خطوط جریان در مقطع عرضی به فاصله ۰/۹۲ برابر طول بال از بالادست آبشکن دافع در حالت استغراق (الف)، ۰ (ب) و ۱۵ (ج) و ۲۵ درصد در مقطع به فاصله ۰/۰۸ طول بال از پایین دست آبشکن در حالت استغراق (ت)، ۰ (ث) و ۱۵ (ج) و ۲۵ درصد

بیشترین انحراف خطوط جریان از آبشکن شکل می‌گیرد و در این تراز هیچ گردابه‌ای در بالادست و پایین دست آبشکن تشکیل نمی‌شود و در ترازهای بالاتر (به فاصله یک ششم ارتفاع جریان از بستر) ابتدا گردابه در بالادست و سپس پایین دست آبشکن تشکیل می‌شود. با دور شدن از بستر، گردابه در بالادست آبشکن کوچک‌تر و در پایین دست آن بزرگ‌تر می‌شود. در ترازهای انتهایی جریان ابتدا گردابه بالادست و سپس پایین دست آبشکن به تدریج از میان می‌رود. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در حالت دافع بیشترین انحراف در خطوط جریان در ترازهای نزدیک بستر و در مجاورت آبشکن وجود دارد که مقدار انحراف در حالت آبشکن دافع بیش از جاذب می‌باشد. ناحیه جدایی جریان در بالادست و پایین دست آبشکن در نزدیکی ساحل خارجی تشکیل می‌شود. انحراف خطوط جریان در پایین دست آبشکن در نزدیکی ساحل داخلی متناسب با شکل گردابه‌های تشکیل شده در این حالات می‌باشد که متأثر از پشته‌های رسوبی تشکیل شده در مجاورت ساحل داخلی است. همان‌طور که در شکل (۶- الف و ب) مشاهده می‌شود در هر دو حالت جاذب و دافع خطوط جریان در نزدیکی بستر به سمت ساحل داخلی متمایل می‌شود. در نزدیکی سطح جریان در حالت جاذب به غیر از انحراف کوچکی به موازات بال آبشکن در نزدیکی سطح آب تغییر محسوسی در خطوط جریان ایجاد نمی‌شود. در حالت دافع هر دو ناحیه جدایی جریان در بالادست و پایین دست آبشکن تا حدودی به سطح آب منتقل می‌شود که نشان از تأثیر زیاد آبشکن در انحراف جریان در این حالت دارد. در حالت جاذب و دافع از تراز میانی جریان تا نزدیکی سطح آب خطوط جریان به سمت ساحل خارجی متمایل می‌شوند (شکل ۶- ج و ن). در حالت دافع مستغرق تشکیل گردابه‌ها در پایین دست آبشکن از مجاورت بستر و در بالادست آن در تراز یک سوم ارتفاع جریان تشکیل می‌شود. در حالت استغراق آبشکن دافع نیز بیشترین میزان تدافع جریان که در نزدیکی بستر اتفاق می‌افتد در حالت استغراق ۲۵ درصد بیش از سایر درصدهای استغراق می‌باشد. همچنین در حالت دافع با افزایش تراز از بستر گردابه پایین دست در حالت مستغرق به سمت دماغه آبشکن متمایل می‌شود و تا نزدیکی تراز آبشکن با همان فاصله از ساحل خارجی باقی می‌ماند که در شکل (۷- الف و ب) محل تشکیل این گردابه در تراز ۵۰ درصد ارتفاع جریان در حالت استغراق ۱۵ و ۲۵ درصد نشان داده شده است و این در حالی است که در درصد استغراق صفر آبشکن گردابه در مجاورت ساحل خارجی تشکیل می‌شود. جهت‌گیری خطوط جریان با تغییر در درصد استغراق ثابت می‌ماند. در حالت آبشکن جاذب و استغراق ۱۵ درصد از نزدیکی بستر گردابه کوچکی در پایین دست آبشکن تشکیل می‌شود و گردابه بالادست آبشکن در تراز یک سوم ارتفاع آبشکن ایجاد می‌شود در تراز میانی آبشکن، گردابه در بالادست و پایین دست آبشکن در بزرگ‌ترین

در شکل (۴- ت، ث و ج) جریان‌های ثانویه در حال شکل‌گیری در خلاف جهت جریان‌های ثانویه اصلی مشاهده می‌شود. در حالت مستغرق نیز در ابتدا جریان ثانویه در نزدیکی قوس خارجی تشکیل شده و سپس به کناره قوس داخلی متمایل می‌شود و با عبور از آبشکن جریان ثانویه فرعی در خلاف جهت جریان ثانویه اصلی در نزدیکی سطح جریان تشکیل شده و در استغراق ۲۵ درصد در فاصله بیش‌تری از پایین دست آبشکن و در مقطع حدوداً ۵۰ درجه تشکیل می‌شود و در حالت استغراق ۲۵ درصد در مقطع حدوداً ۶۰ درجه ناپدید شده ولی در حالت استغراق ۱۵ درصد تا انتهای قوس ادامه می‌یابد. جریان ثانویه اصلی نیز تا انتهای قوس ادامه پیدا می‌کند. در شکل ۴ به بررسی خطوط جریان در مجاورت بال آبشکن و در حالت قرارگیری آن به صورت دافع پرداخته شده است (۰/۹۲ و ۰/۰۸ طول بال به ترتیب در بالادست و پایین دست از موقعیت آبشکن). در شکل (۴- ت، ث و ج) جریان‌های ثانویه در حال شکل‌گیری در خلاف جهت جریان‌های ثانویه اصلی مشاهده می‌شود.

خطوط جریان در مقاطع طولی کانال

شکل ۵ نمونه‌ای از خطوط جریان در مقطع طولی به فاصله ۵ درصد عرض کانال از ساحل خارجی را برای نسبت‌های مختلف استغراق در حالت دافع و جاذب نشان می‌دهد. الگوی جریان در اطراف آبشکن به صورتی است که علاوه بر گردابه‌های شکل گرفته با محور قائم، جریان چرخشی با محور افقی در اطراف آبشکن در نتیجه برگشت آب ایجاد می‌شود که این گردابه‌ها در بالادست و پایین دست آبشکن‌های نشان داده قابل مشاهده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد طول ناحیه جدایی ناشی از گردابه‌های با محور افقی در پایین دست آبشکن، در تمامی حالت‌ها با افزایش تراز نسبت به بستر افزایش می‌یابد. همچنین با مقایسه طول این ناحیه برای نسبت‌های مختلف استغراق برای حالت‌های جاذب و دافع آبشکن مشاهده می‌گردد که در این مقطع طول ناحیه جدایی جریان ناشی از گردابه‌های با محور افقی برای آبشکن با نسبت‌های مختلف استغراق در حالت جاذب تا فاصله حدود ۴ برابر و در حالت دافع ۳ برابر طول جان آبشکن ادامه دارد. با مقایسه اشکال در حالت دافع و جاذب مشاهده می‌گردد با افزایش درصد استغراق و تغییر زاویه قرارگیری آبشکن از جاذب به دافع ابعاد گردابه‌های تشکیل شده و فاصله شکست خطوط جریان از جان آبشکن در پایین دست آبشکن کاهش می‌یابد.

خطوط جریان در پلان کانال

استفاده از آبشکن باعث دور شدن جریان از کناره رودخانه می‌شود. به‌طور کلی در بررسی جریان در پلان در تراز نزدیک بستر

قدرت جریان ثانویه معرفی کرده است:

$$S_{xy} = \frac{K_{lateral}}{K_{main}} \quad (۲)$$

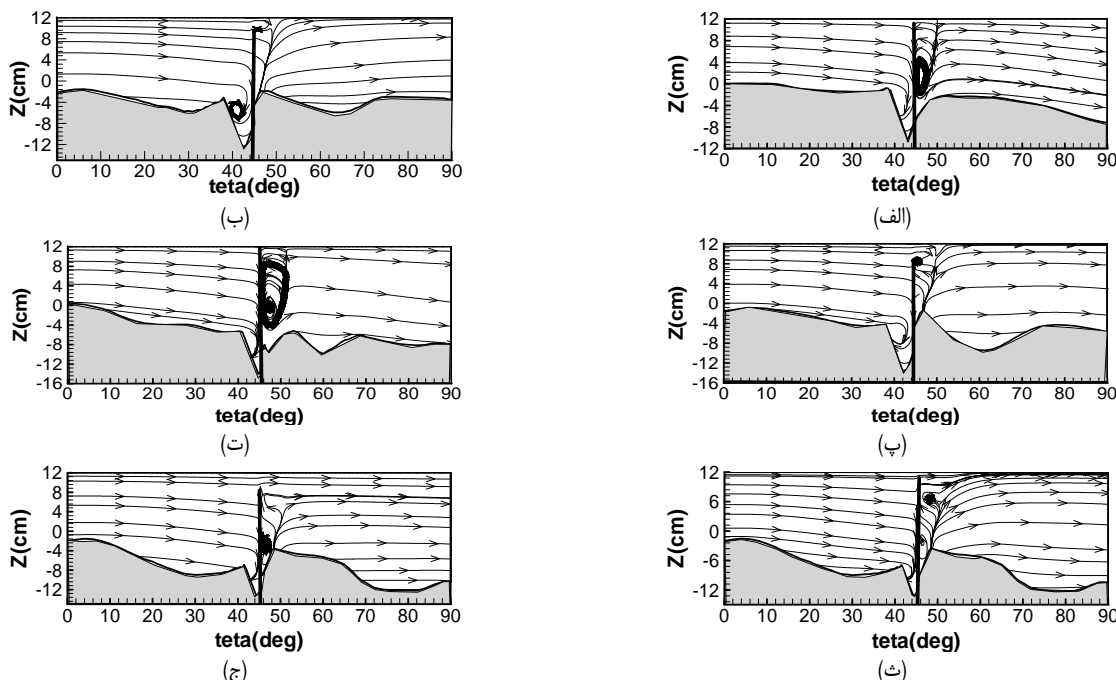
این معیار در یک مقطع عرضی معین عبارت است از نسبت انرژی جنبشی جریان جانبی به انرژی جنبشی جریان اصلی. در معادله فوق S_{xy} بیانگر قدرت جریان ثانویه، $K_{lateral}$ و K_{main} به ترتیب نشان دهنده انرژی جنبشی جریان جانبی و انرژی جنبشی جریان اصلی می‌باشند. قدرت جریان ثانویه بیانگر تمایل جریان برای حرکت به سمت ساحل خارجی در مسیرهای قوسی می‌باشد. در شکل ۸ نمودار درصد قدرت جریان ثانویه نسبت به زاویه قوس نشان داده شده است.

در این نمودار تغییرات قدرت جریان ثانویه از زاویه حدود ۲۰ درجه آغاز می‌شود و از زاویه ۴۰ تا ۴۲ درجه بیشینه تغییرات آغاز می‌شود سپس جهش بزرگی در مقدار قدرت جریان ثانویه رخ می‌دهد و تا زاویه ۴۵ درجه به بیشینه مقدار خود می‌رسد. جهش در حالت جاذب در فاصله بیش‌تری نسبت به ابتدای قوس نسبت به حالت دافع اتفاق می‌افتد ولی بیشینه مقدار آن بیش‌تر است. هم‌چنین پس از جهش ابتدایی جهش ثانویه دیگری در حالات جاذب به دلیل زاویه قرارگیری آبشکن رخ می‌دهد که مقدار بیشینه آن از جهش اولیه بسیار کم‌تر است.

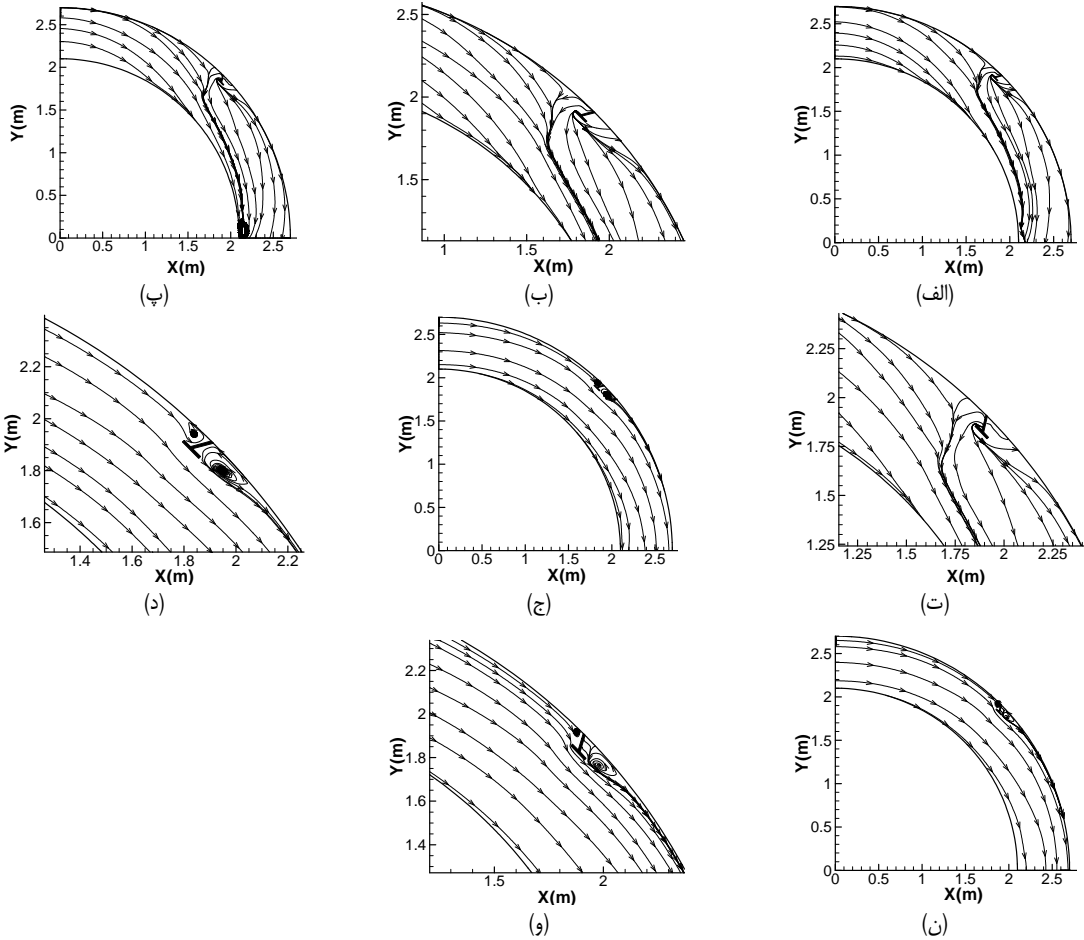
مقدار خود ظاهر می‌شود که گردابه پایین دست در مجاورت دماغه آبشکن تشکیل می‌شود. در حالت آبشکن جاذب و استغراق ۲۵ درصد گردابه در نزدیکی آبشکن در پایین دست آن تشکیل می‌شود که با فاصله گرفتن از بستر این گردابه از بین رفته و تقریباً در تراز میانی آبشکن گردابه در بالادست و پایین دست آبشکن در بزرگترین مقدار خود تشکیل می‌شود که گردابه پایین دست همانند استغراق ۱۵ درصد در مجاورت دماغه تشکیل می‌شود. در تراز سطحی آبشکن در حالت مستغرق، جریان گردابه‌ای در بالادست و پایین دست آبشکن همچنان تشکیل می‌شود. همچنان که انتظار می‌رود تأثیر آبشکن در تراز سطحی جریان در حالت استغراق ۱۵ درصد بیش از استغراق ۲۵ درصد می‌باشد. در همه زوایای قرارگیری آبشکن در حالت مستغرق گردابه پایین دست نسبت به حالت غیر مستغرق بعد طولی بزرگ‌تری می‌باشد.

قدرت جریان ثانویه

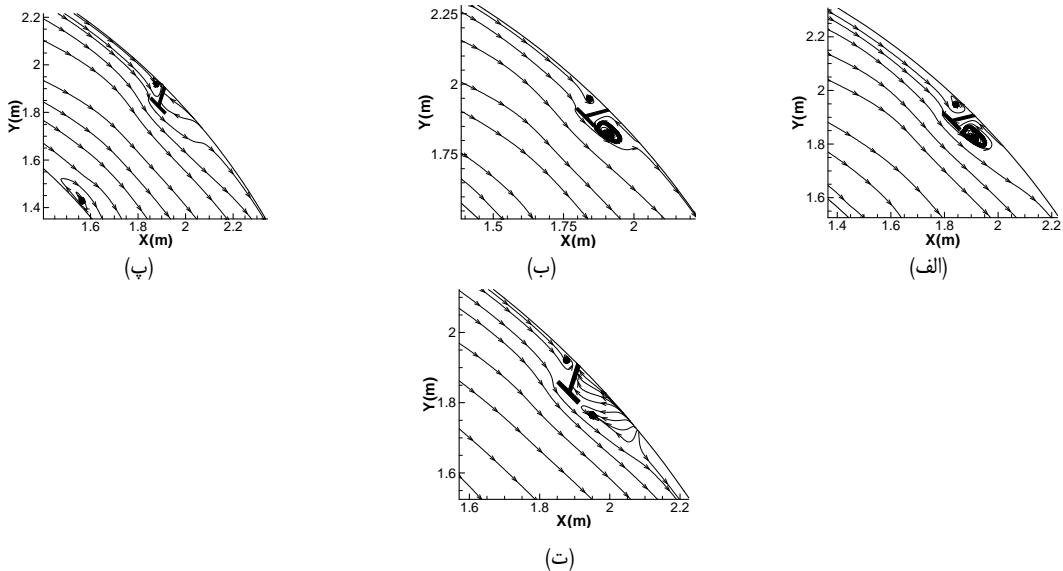
همان‌طور که پیش از این گفته شد در قوس‌های رودخانه‌ای در اثر نیروی گریز از مرکز جریان ثانویه تشکیل می‌شود که در اثر این جریان، آب در قسمت بالایی رودخانه به سمت بیرون رانده می‌شود و در قسمت پایین به سمت قوس داخلی حرکت می‌کند. (Shukry, 1950) با بررسی جریان در مسیرهای قوسی ضمن تشریح مکانیسم جریان ثانویه، جهت بحث کمی بر روی این پدیده، معیار زیر را برای



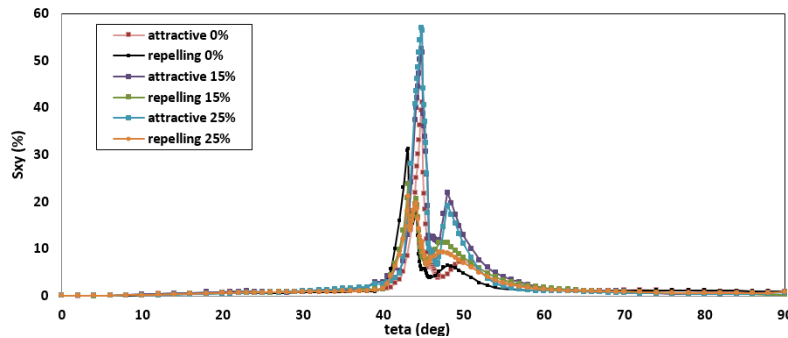
شکل ۵- خطوط جریان در مقطع طولی به فاصله ۵ درصد عرض کانال از ساحل خارجی در حالت آبشکن دافع و استغراق (الف)، (ب) ۱۵ و (پ) ۲۵ درصد و در حالت آبشکن جاذب در حالت استغراق (ت)، (ث) ۱۵ و (ج) ۲۵ درصد



شکل ۶- خطوط جریان در تراز نزدیک بستر برای آبشکن‌های (الف) جاذب، (ب) بزرگنمایی، (پ) دافع، (ت) بزرگنمایی و در تراز میانی عمق جریان برای آبشکن‌های (ج) جاذب، (د) بزرگنمایی، (ن) دافع، (و) بزرگنمایی



شکل ۷- خطوط جریان در تراز میانی عمق جریان برای آبشکن دافع با استغراق (الف) ۱۵، (ب) ۲۵ درصد آبشکن جاذب با استغراق (پ) ۱۵، (ت) ۲۵ درصد



شکل ۸- نمودار قدرت جریان ثانویه برای درصدهای مختلف قرارگیری آبشکن در حالت جاذب و دافع

ناحیه جدایی بالادست در نزدیکی بستر که در تمام حالت‌ها بیش‌ترین مقدار را دارد در آبشکن دافع و در حالت استغراق ۲۵ درصد بیش‌ترین مقدار را دارد.

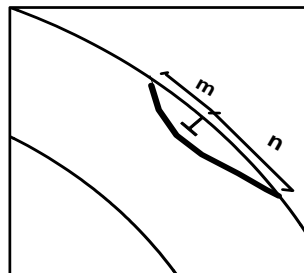
نتیجه‌گیری

احداث آبشکن‌ها با حفاظت غیر مستقیم سواحل رودخانه‌ها جریان‌های پرسرعت را تا حدود زیادی از مناطق مورد نظر جدا نموده، هزینه و زمان اجرا نسبت به روش‌های حفاظت مستقیم سواحل را کاهش می‌دهد. از این‌رو با بررسی پارامترهای مختلف مؤثر بر طراحی آبشکن دیدگاه بهتری برای محققین در آینده جهت طراحی گسترده‌تر این سازه فراهم می‌آورد. در این مطالعه به نحوه تشکیل گردابه‌ها و خطوط جریان، قدرت جریان ثانویه و ناحیه جدایی در اطراف آبشکن پرداخته شده است. با بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل جریان در حوزه مدل‌سازی عددی در حالت دافع و جاذب آبشکن و تغییر در درصد استغراق مهم‌ترین نتایج را به صورت زیر می‌توان برشمرد: در حالت دافع و جاذب با افزایش تراز از بستر گردابه پایین دست در حالت مستغرقه سمت دماغه آبشکن متمایل می‌شود و تا نزدیکی تراز آبشکن با همان فاصله از ساحل خارجی باقی می‌ماند. فاصله مرکز گردابه تشکیل شده در پلان در بالادست و پایین دست آبشکن از موقعیت آبشکن با تغییر درصد استغراق تقریباً ثابت است.

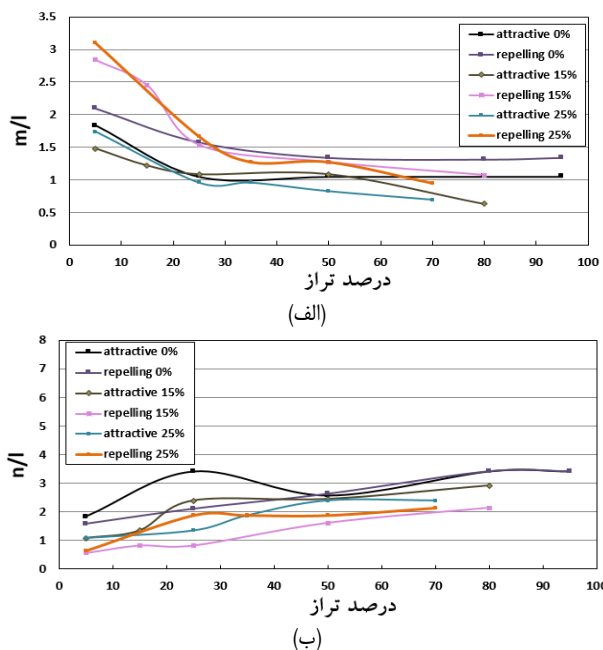
جهش ثانویه در حالت جاذب و مستغرق بیش از مقدار آن در حالت غیر مستغرق است که مقدار آن ۳۵ درصد مقدار جهش اولیه می‌باشد و این در حالی‌است که بیشینه مقدار جهش و جهش ثانویه در حالت دافع قبل از زاویه ۴۵ درجه اتفاق می‌افتد که نشان از تأثیر بال در پدیده جهش ثانویه می‌باشد. از زاویه ۶۰ درجه مقدار قدرت جریان ثانویه با شیب یکسان به صفر می‌رسد. هم‌چنین با مقایسه نمودارها می‌توان دریافت افزایش درصد استغراق باعث کاهش مقدار بیشینه جهش در مقادیر قدرت جریان ثانویه در حالت دافع و افزایش در حالت جاذب می‌گردد. بیشینه مقدار جهش در حالت جاذب در حالت غیر مستغرق ۱/۳۲ و در حالت استغراق ۱۵ و ۲۵ درصد به ترتیب ۲/۱۸۳ و ۲/۷۱۴ برابر حالت دافع می‌باشد.

ناحیه جدایی جریان

در شکل ۹ نمایش شماتیک از ناحیه جدایی جریان در بالادست و پایین دست آبشکن نشان داده شده است. در شکل ۱۰ مقادیر بی‌بعد شده طول ناحیه جدایی جریان در بالادست و پایین دست آبشکن با طول بال آبشکن نشان داده شده است. در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود برای تمام درصدهای استغراق آبشکن و اشکال متفاوت آبشکن با افزایش تراز طول ناحیه جدایی در بالادست سیر نزولی و در پایین دست سیر صعودی دارد. در شکل (۱۰- الف) مشاهده می‌شود بیش‌ترین تغییرات در طول ناحیه جدایی در بالادست در نیمه اول تراز ارتفاعی آبشکن رخ می‌دهد. هم‌چنین در این اشکال مشاهده می‌شود ماکزیمم طول



شکل ۹- نمایش شماتیک از ناحیه جدایی در بالادست و پایین دست آبشکن



شکل ۱۰- نمودار تغییرات طول ناحیه جدایی در (الف) بالادست و (ب) پایین دست آبشکن با تغییر در تراز ارتفاعی برای درصدهای مختلف استغراق آبشکن جاذب و دافع

Fazli, M., Ghodsian, M., Neyshabouri, S.A.A. 2008. Scour and flow field around a spur dike in a 90 bend. *International Journal of Sediment Research*. 23.1: 56-68.

Graf, W.H., Istiarto, I. 2002. Flow pattern in the scour hole around cylinder. *Journal of Hydraulic Research*. 40.1: 13-20.

Ibrahim, M.M. 2014. Local bed morphological changes due to oriented groins in straight channels. *A in Shams Engineering Journal*. 5.2: 333-341.

Olsen, N.R.B.A. 2011. Three dimensional numerical model for simulation of sediment movement in water intakes with multiblock option. Department of hydraulic and Environmental Engineering, the Norwegian University of science and Technology.

Shukry, A. 1950. Flow around Bends in an open flume. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. ASCE 115.1: 751-779.

Tang, X.L., Chen, Z.C., Yang, F. 2006. Dynamic Large Eddy Simulation of Secondary Flow near a Groyne. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical simulation*. 7.3: 257- 262.

Vaghefi, M., Ahmadi, A., Faraji, B. 2015. The Effect of Support Structure on Flow Patterns Around T-Shape Spur Dike in 90° Bend Channel. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 1-9.

Vaghefi, M., Ghodsian, M., Adib, A. 2012. Experimental Study on the Effect of Froude Number on Temporal Variation of Scour around a T Shaped Spur Dike in

بیشینه مقدار جهش در حالت جاذب در حالت غیر مستغرق $1/32$ و در حالت استغراق ۱۵ و ۲۵ درصد به ترتیب $2/183$ و $2/714$ برابر حالت دافع می‌باشد. هم‌چنین افزایش درصد استغراق باعث کاهش مقدار جهش در مقادیر قدرت جریان ثانویه در حالت دافع و افزایش در حالت جاذب می‌گردد. و تغییرات طول بی‌بعد ناحیه جدایی برای کلیه حالات بین $0/068$ تا $3/09$ و برای ناحیه بازگشتی بین $3/4$ و $0/56$ برابر طول بال آبشکن می‌باشد.

منابع

Abhari, M.N., Ghodsian, M., Vaghefi, M., Panahpur, N. 2010. Experimental and numerical simulation of flow in a 90 bend. *Flow Measurement and Instrumentation*. 21.3: 292-298.

Basser, H., Karami, H., Shamshirband, S., Akib, S., Amirmojahedi, M., Ahmad, R., Javidnia, H. 2015. Hybrid ANFIS-PSO approach for predicting optimum parameters of a protective spur dike. *Applied Soft Computing*. 30: 642-649.

Blanckaert, K., Graf, W.H. 2001. Mean Flow and Turbulence in Open-Channel Bend. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127.10: 126-138.

Forghani, M.J., Fazli, M., Ghodsian, M. 2007. Experimental study on flow field and scouring around a spur dike in ninety degree bend. 32nd Congress of IAHR, Venice, Italy.

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

a 90 Degree Bend. In Applied Mechanics and Materials. 147: 75-79.

Vaghefi,M., Ghodsian,M., Neyshabouri,S.A.A. 2012. Experimental study on scour around a T-shaped spur dike in a channel bend. Journal of Hydraulic Engineering. 138.5: 471-474.

Flow Pattern in a Bend Channel with Attractive and Repelling T-Shaped Spur Dike Using SSIIM Model

P. Radan¹ and M. Vaghefi^{2*}

Received: Aug.03, 2015

Accepted: Dec.30, 2015

Abstract

This paper studied flow pattern in attractive and repelling modes of a spur dike (30 degree angle to the flow) by changing the submergence percentage of the spur (0, 15 and 25% of depth at the channel entrance). The simulation was made by SSIIM modeling. In this study, streamlines, secondary flow strength and flow separation and reattachment zones were addressed. The numerical results were compared with experimental data and the comparison showed that the numerical results were in a relatively good agreement with the experimental data. The results indicated that by increasing the submergence percentage, the amount of jumps in secondary flow strength decreased in repelling mode and increased in attractive mode. Moreover, the streamlines at the upstream of the repelling spur dike were more deflected than in the case of the attractive spur dike.

Keywords: Flow Pattern, T-Shaped Spur Dike, Attractive and Repelling, Submergence Percent, SSIIM

1-M.Sc. of Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Persian Gulf University, Bushehr

2- Associate Professor of Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Persian Gulf University, Bushehr

(*-Corresponding Author Email: Vaghefi@pgu.ac.ir)