

تأثیر عدد فرود جریان بر الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن‌های سری در مسیر مستقیم در حالت مستغرق و غیر مستغرق

حامد حسین‌زاده تبریزی^۱، محمد واقفی^{۲*}، مسعود قدسیان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدرولیک، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

۳- استاد هیدرولیک، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

vaghefi@pgu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۶/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۰۱

چکیده- در این پژوهش به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون آبشکن‌های سرسپری سری مستغرق و غیرمستغرق در مسیر مستقیم پرداخته می‌شود. بررسی الگوی آبشستگی در سه زاویه مختلف قرارگیری آبشکن نسبت به ساحل مجاور، در درصد استغراق‌های مختلف و سه عدد فرود جریان صورت گرفت. نتایج نشان دهنده افزایش عمق بیشترین آبشستگی در لبه بالا دست آبشکن‌ها با افزایش عدد فرود و کاهش درصد استغراق است. همچنین به دلیل تأثیر آبشکن‌های سری، بیشترین عمق آبشستگی در آبشکن سوم کمتر از آبشکن دوم، و آبشکن دوم کمتر از آبشکن اول است. با کاهش عدد فرود و افزایش درصد استغراق آبشکن‌ها، تأثیر آبشکن‌های سری کمتر شده و آبشکن‌ها تقریباً به صورت جدا عمل می‌کنند. محل شروع رسوب‌گذاری و مقدار آن با تغییر عدد فرود جریان، درصد استغراق آبشکن‌ها و زاویه قرارگیری آن نسبت به ساحل مجاور تغییر می‌کند که در این پژوهش به بررسی و مقایسه این تغییرات پرداخته می‌شود. آزمایش الگوی جریان اطراف آبشکن جاذب، در شرایط آستانه حرکت و در درصد استغراق ۵۰ درصد انجام شد که این آزمایش با بررسی جهت و مقدار سرعت جریان سه بعدی و تنش برشی بستر در جلوی بال آبشکن‌ها و محدوده‌ی بین آبشکن‌ها پیش‌بینی قابل قبولی از آبشستگی در پیرامون آبشکن‌های سرسپری به دست می‌آید.

واژگان کلیدی: آبشستگی، آبشکن‌های سرسپری سری، عدد فرود، درصد استغراق، الگوی جریان

۱- مقدمه

نوربخش و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی اثر طول

آبشکن سرسپری بر آبشستگی بستر در حالت مستغرق پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که با افزایش طول آبشکن به واسطه تنگ‌شدگی موضعی، ابعاد حفرة آبشستگی افزایش یافته و همچنین ناحیه مورد حفاظت در پایین دست آبشکن گسترده‌تر می‌شود. همچنین با بررسی

آبشکن‌ها در شرایط مختلف بازه‌های رودخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ آبشکن‌ها برای اصلاح مسیر رودخانه‌های عریض و شریانی و به ویژه؛ با بار رسوبی کف زیاد (از نوع ماسه، شن و درشت تر) و برای شرایط مختلف جریان مناسب و مؤثر است.

سه استغراق ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد، افزایش تمامی مولفه‌های حفره‌ی آبستنگی را همراه با افزایش عدد فرود مشاهده کردند که علت این امر را افزایش سرعت و تنش برشی در اطراف آبشکن دانستند [۱]. واقفی و همکاران (۱۳۸۸) با آزمایش‌هایی که روی آبشکن T شکل در قوس انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با افزایش طول آبشکن بیشینه عمق آبستنگی افزایش می‌یابد. ایشان همراه با کاهش عدد فرود جریان کاهش ابعاد حفره‌ی آبستنگی و بیشینه عمق آبستنگی در موقعیت‌های استقرار و شعاع انحناهای مشابه را گزارش داد [۲]. فرهادیان (۱۳۸۷) برای آبشکن سرسپری غیرمستغرق عمودی با سه نسبت تنگ‌شدگی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد، در کانالی با عرض ۶۰ سانتیمتر، با سه آبشکن به طول بال و جان برابر (۶، ۹ و ۱۲ سانتیمتر) و با چهار دبی مختلف، آزمایش‌هایی را در مدت ۲۴ ساعت انجام داد و به این نتیجه رسید که با افزایش طول آبشکن میزان عمق آبستنگی پیرامون آبشکن افزایش می‌یابد. تحلیل ایشان این بود که با افزایش طول آبشکن، قدرت جریان‌پایین رونده افزایش می‌یابد و همچنین سطح مقطع عبوری جریان کاهش می‌یابد که به دنبال آن سرعت جریان در محل آبشکن افزایش می‌یابد، که باعث افزایش قدرت گردابه‌ها شده و میزان آبستنگی افزایش می‌یابد. فرهادیان میزان بیشینه عمق آبستنگی در اطراف آبشکن را حدود ۱/۵۴ تا ۲/۱ برابر طول آبشکن دانست [۳].

ازل‌دین و همکاران (۲۰۰۷) پژوهش‌هایی را روی آبشکن تیغه‌ای با زوایای مختلف (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به پایین دست ساحل مجاور آبشکن)، طول‌های مؤثر متفاوت (۴، ۷ و ۱۰ سانتیمتر) و مصالح یکنواخت ($d_{50}=0.6\text{mm}$) در کانالی به عرض ۰/۴ متر و طول ۱۲ متر انجام داد. ایشان به این نتیجه رسیدند که با افزایش تنگ‌شدگی (L)، ابعاد حفره‌ی آبستنگی افزایش یافته و طول

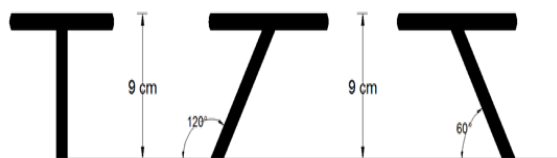
بالادست حفره‌ی آبستنگی حدود دو برابر طول مؤثر آبشکن است. همچنین نشان داد طول بالادست و طول پایین‌دست حفره‌ی آبستنگی در این نوع آبشکن‌ها به ترتیب حدود دو و سه برابر بیشینه عمق آبستنگی است. او آبشکن با زاویه ۳۰ درجه را از نظر عمق آبستنگی و حفاظت ساحل بهترین گزارش کرد [۴].

نگاتا و همکاران (۲۰۰۵) به شبیه سازی عددی الگوی جریان سه بعدی حول تک آبشکن با بستر متحرک پرداختند و ضمن تحلیل ساختار جریان متوسط، ارتباط آن را با نحوه وقوع و توسعه حفره آبستنگی بررسی کردند. بر اساس نتایج این پژوهشگران، در لحظه شروع محاسبات خطوط جریان در محل دماغه متمرکز شده ولی در حالت بستر متعادل، به واسطه تشکیل حفره آبستنگی، ابعاد ناحیه چرخشی گسترش یافته و خطوط جریان به سمت مرکز کانال منتقل شده‌اند. در حالت بستر تخت، جریان‌های چرخشی به اندازه کافی توسعه نیافته ولی با وقوع حفره آبستنگی، جریان‌های چرخشی تشدید شده و ضمن افزایش شدت جریان رو به پایین در وجه بالادست آبشکن، جریان برگشتی نزدیک کف نیز تشدید می‌شود [۵].

یاسی (۲۰۰۶) به بررسی تأثیر اصلاح نحوه پیش‌بینی تنش برشی بستر بر روی الگوی آبستنگی حول تک آبشکن مستقیم پرداخت. وی معادلات دو بعدی متوسط-گیری شده در عمق را برای حل میدان جریان به کار گرفته و آثار انحنای موضعی خطوط جریان و نیز آثار توپوگرافی بستر را بر تنش برشی بستر در معادلات جریان اعمال کرد. ایشان به بهبود الگوی فرسایش بستر به واسطه اصلاح تنش برشی اشاره و نشان داده است که با وجود تصحیح تنش برشی بستر، الگوی فرسایشی با حالت آزمایشگاهی متفاوت است [۶].

دوآن (۲۰۰۹) به مطالعه ساختار جریان‌های متوسط و

فاصله $3/5$ برابر طول آبشکن‌ها استفاده شده است. آبشکن میانی در مختصات صفر و دو آبشکن کناری با فاصله $3/5$ برابر طول آبشکن یعنی در مختصات $+32/5$ و $-32/5$ سانتی‌متری قرار داشتند. مش‌بندی استفاده شده برای بررسی سرعت سه‌بعدی شامل نه تراز ارتفاعی بود که با میانگین سه دقیقه برای هر نقطه، به وسیله سرعت‌سنج ADV برداشت شد. الگوی جریان در حالت بستر تخت و در شرایط نزدیک آستانه حرکت و در استغراق 50% برداشت شد. ارتفاع جریان $12/8$ سانتی‌متر و ارتفاع آبشکن $6/4$ سانتی‌متر بود.



شکل (۱) شکل شماتیک از آبشکن‌ها و نحوه قرارگیری آنها

۳- نتایج الگوی جریان

الگوی جریان در حالت بستر تخت نشان‌دهنده الگوی جریان در ابتدای آبستکی است که تجزیه و تحلیل آن می‌تواند در پیش‌بینی تغییرات بستر با گذشت زمان مفید باشد.

۳-۱- خطوط جریان در لایه‌های ارتفاعی مختلف

مطابق شکل (۲) خطوط جریان اطراف آبشکن در سه تراز ارتفاعی $0/5$ ، $3/5$ و $7/5$ سانتی‌متری از بستر آورده شده است. به دلیل تنگ‌شدگی ناشی از احداث آبشکن و عرض زیاد ناحیه جدایی جریان در جلوی آبشکن، سرعت جریان در جلو آبشکن نسبت به نواحی دیگر بیشتر است. در شکل (۲-الف) ناحیه جدایی جریان کاملاً مشخص است که با افزایش تراز ارتفاعی عرض ناحیه جدایی کاهش می‌یابد. از

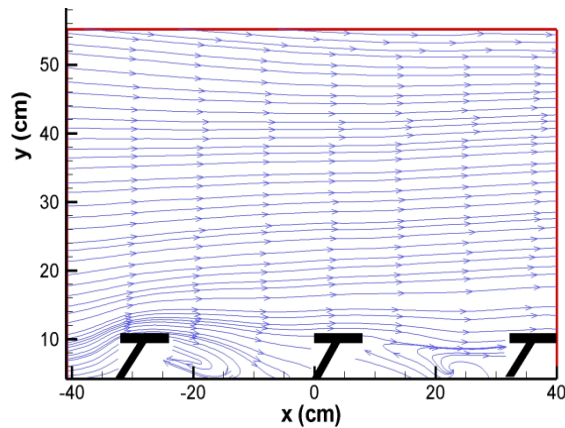
آشفته حول آبشکن مستقیم واقع در یک کانال آزمایشگاهی با بستر صلب و تخت پرداخت. وی برای اندازه‌گیری میدان جریان از دستگاه سرعت سنج ADV استفاده نموده و میدان جریان را در 8 لایه عمقی و در محدوده‌های بالادست و پایین دست تک آبشکن اندازه‌گیری کرد. مدت زمان اندازه‌گیری در هر نقطه 60 ثانیه و فرکانس اندازه‌گیری 25 هرتز بوده است. اولین لایه اندازه‌گیری، در فاصله 1 سانتیمتری بستر کانال قرار گرفته است. بر اساس یافته‌های دوان، جریان متوسط در هر دو جهت جانبی و قائم جدا شده و در داخل ناحیه چرخشی پشت آبشکن، ترکیبی از گردابه‌های افقی و قائم مشاهده می‌شود. و هر سه مولفه تنش‌های قائم رینولدز با عبور از مقطع آبشکن تشدید می‌شود [۸ و ۷].

۲- مواد و روش‌ها

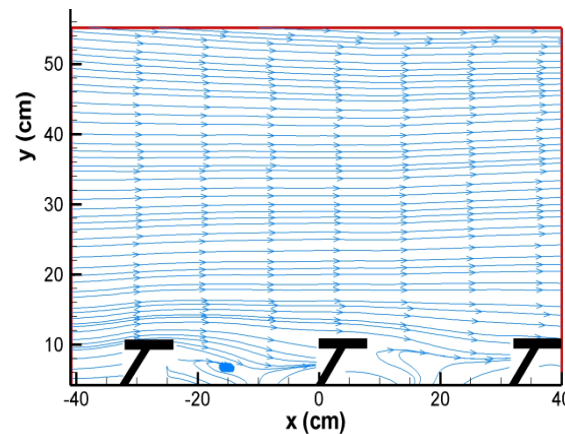
برای انجام آزمایش‌ها از مسیر مستقیم کانال واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس استفاده شده است. طول مستقیم کانال 7 متر، عرض آن 60 سانتی‌متر، ارتفاع آن 65 سانتی‌متر و شیب کف آن $0/001$ و همچنین ارتفاع کانال از کف آزمایشگاه $1/5$ متر است. جنس فریم، کف و دیواره‌های کانال به ترتیب از آهن، شیشه و پلکسی‌گلاس است. محل اتصال پلکسی‌گلاس دیواره و شیشه‌ی کف با چسب آکواریوم پر شده تا از نشت آب جلوگیری شود. کانال مورد استفاده مجهز به یک مخزن ورودی است که جریان را از طریق یک تبدیل به داخل کانال هدایت می‌کند.

در این پژوهش برای انجام آزمایش‌ها از مصالح با قطر $1/28$ میلی‌متر در بستر استفاده شد. برای ساخت آبشکن‌های سرسپری از پلکسی‌گلاس با ضخامت 1 سانتی‌متر استفاده شد همچنین طول جان آبشکن‌ها 9 سانتی‌متر و طول بال آنها نیز برابر جان بود. مطابق شکل (۱) در آزمایش‌ها از سه نوع آبشکن دافع، قائم و جاذب با

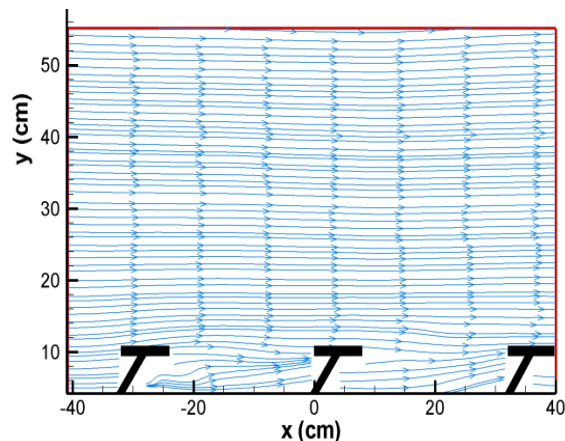
ترازهای عمقی مختلف آورده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۲) خطوط جریان در ترازهای ارتفاعی

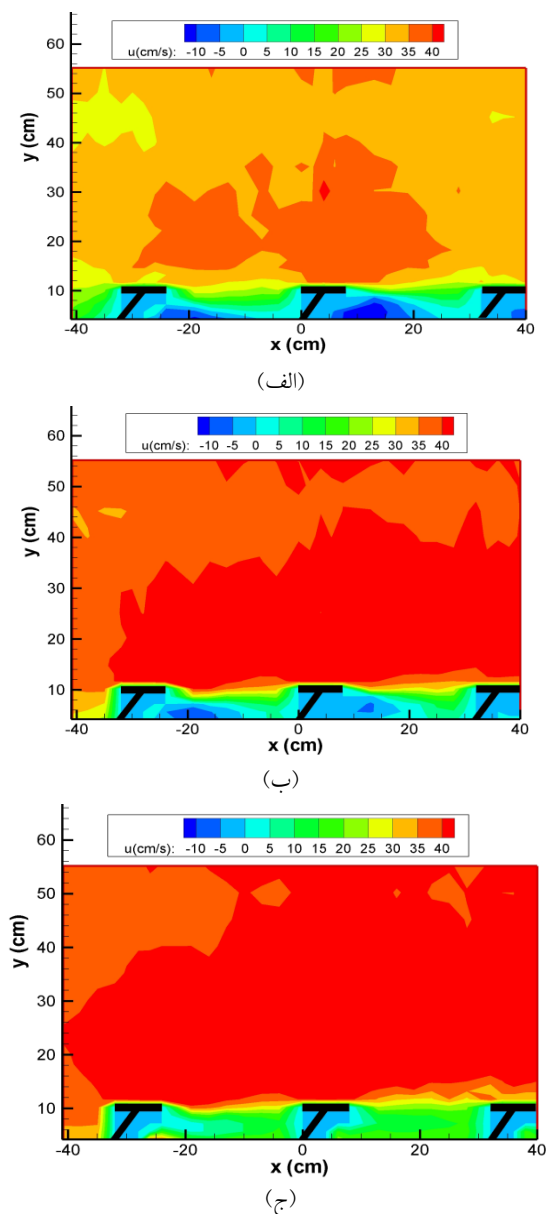
الف) $z=0/5$ cm ب) $z=3/5$ cm ج) $z=7/5$ cm

طرف دیگر در تراز ارتفاعی $0/5$ سانتی متری جریان بازگشتی بین آبشکن اول و دوم را شاهد هستیم و قسمتی از جریان که به وسیله آبشکن اول منحرف شده نیز به مابین دو آبشکن حرکت کرده و به جان آبشکن دوم برخورد می کند. با مقایسه سه تراز مشاهده می شود که در تراز $3/5$ سانتی متری ابعاد گردابه کاهش یافته و از طرف دیگر جریان منحرف شده از آبشکن اول نفوذ بیشتری به محدوده بین دو آبشکن داشته و جریان منفی طولی در پشت جان آبشکن اول را بیشتر تحت تاثیر قرار می دهد. در تراز $7/5$ سانتی متر تاثیر غالب جریان روگذری کاملاً مشخص است. در این تراز برخلاف حالت غیرمستغرق، هیچ جریان طولی منفی مشاهده نمی شود. در این حالت دیگر سرعت منفی و حرکت جریان بین آبشکن اول و دوم به سمت جان آبشکن اول را شاهد نیستیم.

بین آبشکن دوم و سوم در تراز $0/5$ سانتی متر گردابه ضعیفی در پلان دیده می شود که از مختصات تقریباً $x=+25$ سانتی متری به طرف جان آبشکن دوم حرکت می کند که با افزایش ارتفاع، مختصات این گردابه، به جان آبشکن دوم نزدیکتر می شود و در تراز $7/5$ سانتی متری اثری از آن بین آبشکن دوم و سوم نمی بینیم. با دقت بیشتر در شکل متوجه می شویم که با حرکت از تراز $0/5$ سانتی متری تا $7/5$ سانتی متری، کاهش عرض ناحیه جریان جدا شونده مشاهده می شود. دلیل این پدیده را می توان به استغراق آبشکن ربط داد، به گونه ای که به دلیل بازشدگی مقطع در تراز بالاتر از آبشکن و هماهنگ تر شدن جریان آب، در اطراف آبشکن با جریان اصلی کانال، عرض ناحیه جدایی جریان در ترازهای بالاتر، کمتر می شود.

۳-۲- بررسی مؤلفه طولی سرعت (u)

در شکل (۳) نمونه ای از کانتورهای مؤلفه طولی سرعت در



شکل (۳) مؤلفه طولی سرعت خطوط جریان در ترازهای ارتفاعی
 (الف) $z=0.5$ cm (ب) $z=3.5$ cm (ج) $z=7.5$ cm

همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود در لبه بال بالادست آبشکن اول در ناحیه جدایی جریان به علت بسته بودن شدید جریان و فشار بیشتر نسبت به ترازهای بالاتر جریان، جریان عرضی مثبت شدیدی ایجاد می‌شود.

با توجه به شکل به دلیل تنگ شدگی ناشی از احداث آبشکن، سرعت جریان در جلوی آبشکن‌ها در تمام ترازهای عمقی نسبت به نواحی دیگر بیشتر است، یعنی با مقایسه سرعت در مقطع عرضی $x=-41$ سانتی‌متری در بالادست آبشکن‌ها و در هر سه تراز، افزایش سرعت به دلیل تنگ‌شدگی کاملاً مشهود است.

بیشترین مقدار سرعت طولی در تراز 0.5 سانتی‌متری در دوناچه جلوی آبشکن اول و دوم مشاهده می‌شود. اندازه سرعت طولی جریان در جلوی بال آبشکن‌ها در تراز نزدیک بستر به دلیل زبری بستر و اصطکاک ایجاد شده با بستر و فشار بیشتر نسبت به تراز میانی و تراز نزدیک سطح آب، کمتر است.

با بررسی سرعت طولی در ناحیه بین دو آبشکن مشخص است که مقدار سرعت منفی در تراز ارتفاعی 0.5 سانتی‌متر بیشتر از تراز 3.5 و 7.5 سانتی‌متری است. همچنین بیشترین سرعت مثبت در این تراز ارتفاعی تقریباً 10 تا 15 سانتی‌متر در ساعت است. با مقایسه شکل (۳-الف) با شکل (۳-ب) و شکل (۳-ج) کاهش سرعت منفی با افزایش ارتفاع و همچنین افزایش سرعت مثبت در جهت طولی مابین آبشکن اول و دوم را می‌بینیم. همچنین در محدوده‌ی نزدیک بال آبشکن‌ها در هر سه تراز ارتفاعی، مشاهده می‌شود که مقدار سرعت-های طولی جریان برای آبشکن اول بیشتر از آبشکن دوم و سوم است در حالی که برای آبشکن دوم بیشتر از آبشکن سوم است.

۳-۳- بررسی مؤلفه عرضی سرعت (v)

در شکل (۴) نمونه‌ای از کانتورهای مؤلفه عرضی سرعت در ترازهای عمقی مختلف آورده شده است.

در واقع در ناحیه جدایی جریان، جریان به سمت ساحل مقابل حرکت می‌کند.

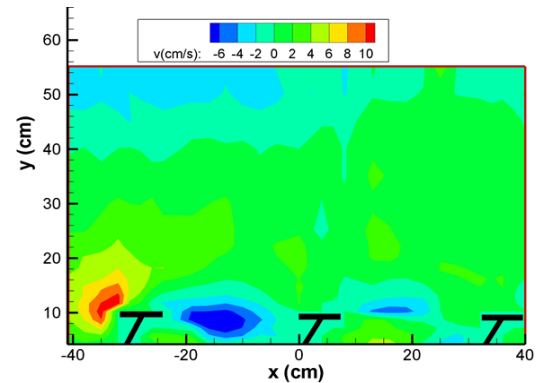
در تراز ۰/۵ سانتی‌متری سرعت منفی عرضی را می‌بینیم که باعث ورود جریان به فضای بین آبشکن اول و دوم می‌شود. با مقایسه سه شکل به کاهش سرعت منفی بین دو آبشکن اول و دوم با افزایش ارتفاع پی می‌بریم. در فضای بین دو آبشکن دوم و سوم، سرعت منفی را شاهد هستیم هر چند دیگر در لبه بال آبشکن‌های دوم و سوم سرعت مثبت طولی دیده نمی‌شود و به نظر می‌رسد خطوط جریان در روبروی بال این دو آبشکن تقریباً موازی خطوط جریان اصلی کانال هستند.

۳-۴- بررسی مؤلفه قائم سرعت (w)

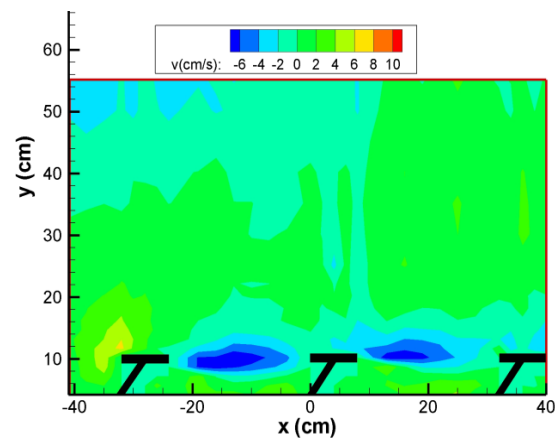
نمونه‌ای از کانتورهای مؤلفه قائم سرعت در ترازهای عمقی مختلف در شکل (۵) آورده شده است. سرعت جریان عمقی به سمت پایین (جریان پایین‌رونده) منفی و به سمت بالا (جریان‌های بالارونده) مثبت در نظر گرفته شده است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود وجود سرعت منفی در جلوی بال آبشکن اول و با شدت کمتر، در جلوی آبشکن دوم که نشان دهنده جریان پایین‌رونده است این واقعیت که در این محل‌ها آبشستگی شدت بیشتری خواهد داشت، را می‌رساند. با توجه به تغییرات مؤلفه عمقی سرعت که شرح داده شد، پیش‌بینی می‌شود به دلیل بیشتر بودن سرعت جریان پایین‌رونده، میزان آبشستگی و عمق آبشستگی در بالادست و جلوی بال آبشکن اول بیشتر از بالادست و جلوی بال آبشکن دوم و سوم باشد.

۳-۵- تنش برشی نزدیک به بستر

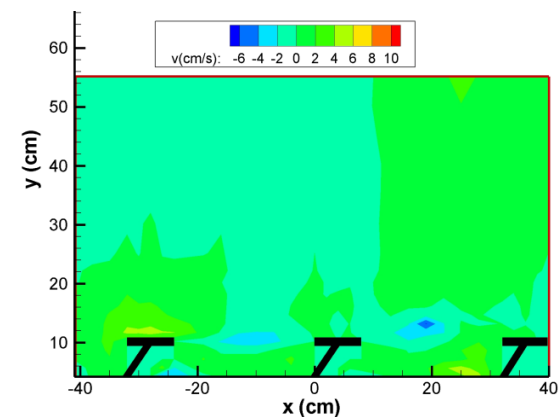
یکی از عوامل موثر بر آبشستگی بستر تنش برشی است. در هر محدوده‌ای مقدار تنش برشی بیشتر باشد مقدار آبشستگی بیشتر خواهد بود.



(الف)



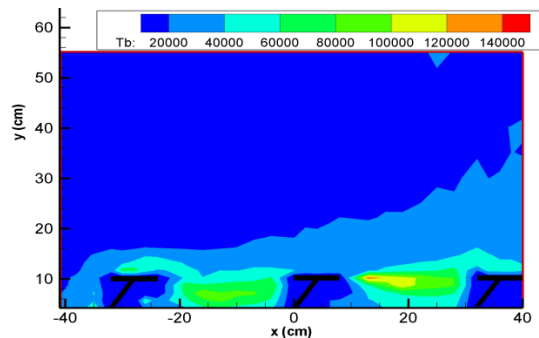
(ب)



(ج)

شکل (۴) مؤلفه عرضی سرعت خطوط جریان در ترازهای ارتفاعی
الف) $z=0.5$ cm ب) $z=3.5$ cm ج) $z=7.5$ cm

(۶) کانتور تنش برشی در اطراف آبشکن‌ها را نشان می‌دهد. تنش برشی در نواحی ساحل مقابل و وسط کانال مقادیر خیلی کمتری نسبت به نواحی نزدیک آبشکن و ساحل مجاور آبشکن دارد. افزایش تنش برشی از بالادست آبشکن اول شروع می‌شود و طبق الگوی جریان در ناحیه جدایی جریان گسترش می‌یابد. در جلوی بال آبشکن اول و فضای بین آبشکن اول و دوم مقدار آن افزایش شدید پیدا می‌کند. در جلوی بال آبشکن دوم مقدار تنش برشی، کمتر از مقدار آن در جلوی آبشکن اول است و از طرف دیگر، در پشت بال آبشکن دوم و قبل از آبشکن سوم مقدار آن افزایش می‌یابد.

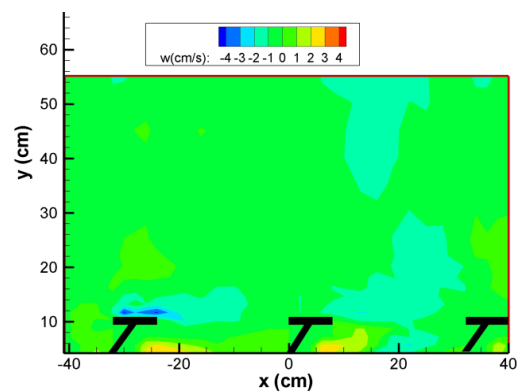


شکل (۶) کانتور تنش برشی بستر در تراز ارتفاعی ۰/۵ سانتی متری

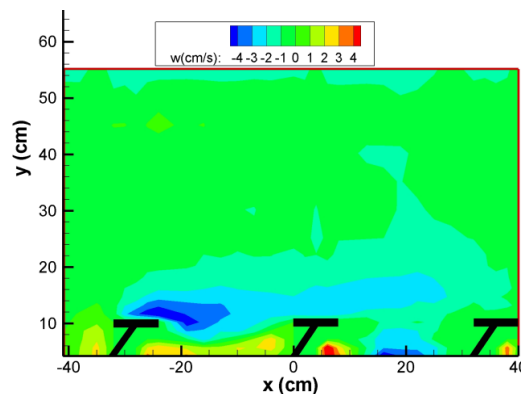
۴- نتایج الگوی آبستگي

۴-۱- بررسی اثر استغراق بر روی بیشینه عمق آبستگي

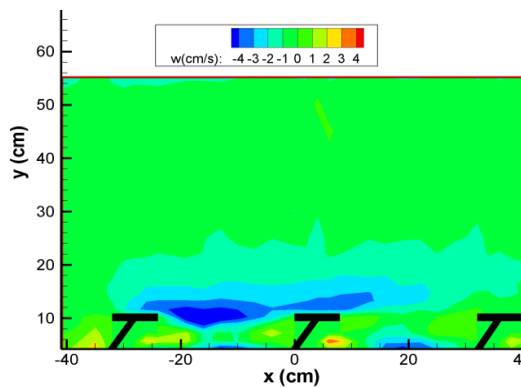
پارامتر بیشینه عمق آبستگي از مهم‌ترین پارامترها در طراحی آبشکن است. همواره بیشینه عمق آبستگي در این نوع آبشکن‌ها در نزدیکی لبه‌ی بالادست بال آبشکن اول تشکیل می‌شود. برای بررسی اثر استغراق بر بیشینه عمق آبستگي، آزمایش‌هایی را در سه عدد فرود جریان، سه نسبت استغراق و سه زاویه مختلف آبشکن انجام دادیم. همان‌گونه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود آزمایش‌ها برای هر سه حالت دافع، قائم و جاذب نشان می‌دهد که در عدد



(الف)



(ب)



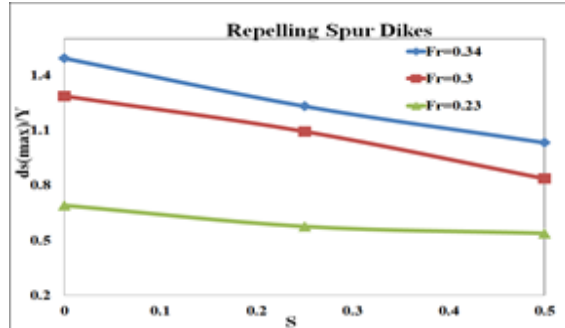
(ج)

شکل (۷) مولفه قائم سرعت در ترازهای عمقی مختلف الف) $z=0.5$

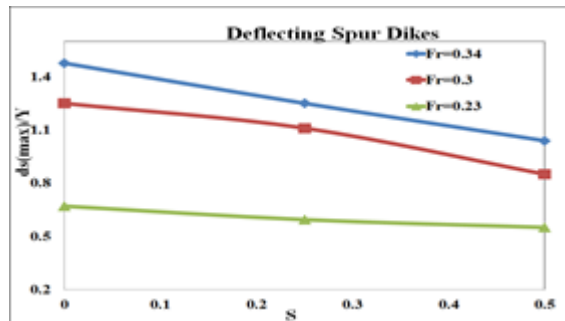
ب) $z=3.5$ و ج) $z=7.5$

در محاسبه تنش برشی بستر سرعت‌های سه بعدی در ناحیه لایه مرزی آشفته یعنی تراز ۰/۵ سانتی‌متری برداشت و با توجه به طبیعت سه بعدی جریان از روش تک نقطه‌ای تنش رینولدز برای محاسبه تنش برشی استفاده شد. شکل

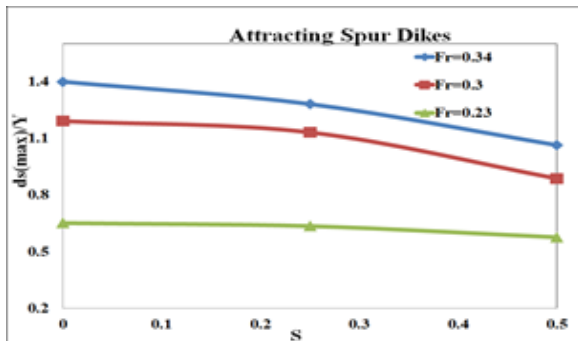
مستغرق کمتر شده و رسوب گذاری در مجاورت ساحل نیز در فاصله ی نزدیکتر به آبشکن تشکیل می شود.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۷) تغییرات بیشینه عمق آبشستگی نسبی برحسب درصد

استغراق برای آبشکن: الف)دافع، ب)قائم و ج)جاذب

با دقت در شکل (۸) مشاهده می کنیم که در هر سه نسبت استغراق رسوب گذاری قبل از آبشکن سوم اتفاق نیفتاده هرچند با افزایش استغراق، عمق، طول بالادست، عمق بیشترین و طول پایین دست حفره آبشستگی کمتر شده است.

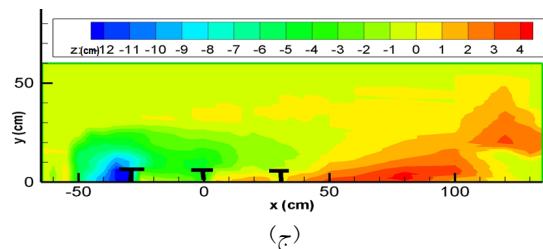
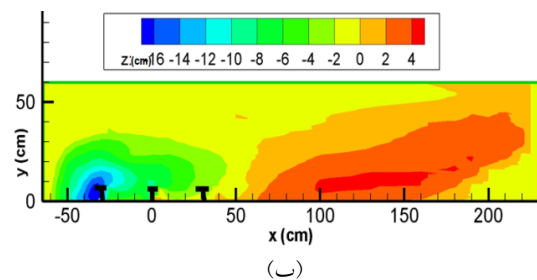
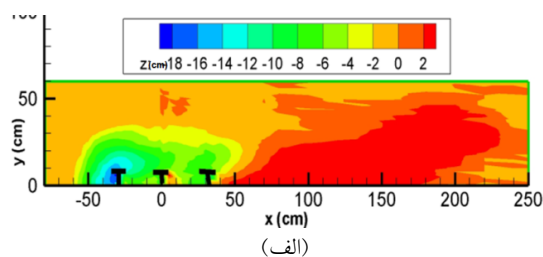
فرودهای مختلف همواره بیشینه عمق آبشستگی نسبی در حالت غیرمستغرق بیشتر از حالت مستغرق است و همچنین با افزایش درصد استغراق همواره بیشینه عمق آبشستگی نسبی کاهش می یابد. برای اینکه با کم شدن درصد استغراق میزان تنگ شدگی در مقطع بیشتر شده و میزان دبی جریان عبوری از بالای آبشکن کمتر می شود و به دنبال آن میزان سرعت آب در محل پیشانی آبشکن زیاد شده و این پدیده به بزرگتر شدن گردابه ی نعل اسبی کمک می کند. در واقع هرچه میزان استغراق آبشکن بیشتر باشد قسمت بیشتری از جریان بالادست آبشکن از روی آبشکن به پایین دست انتقال می یابد و به همین دلیل شدت بخشی از جریان که در اثر اختلاف گرادیان قائم فشار در بالادست آبشکن به سمت بستر حرکت می کند کمتر شده و گردابه ی ایجاد شده که موجب بلند شدن مصالح بستر می شود از قدرت کمتری برخوردار می باشد.

با دقت در شکل (۷) متوجه می شویم که در عدد فرود ۰/۲۳ تاثیر تغییر درصد استغراق به مراتب کمتر از عدد فرود ۰/۳ و ۰/۳۴ است. یعنی شیب نمودار کندتر بوده و حساسیت به تغییر درصد استغراق کمتر است. علت آن نیز این است که در عدد فرود کمتر عمق جریان بیشتر بوده و در نتیجه سرعت جریان کمتر و در نتیجه گردابه ی نعل اسبی و جریان پایین رونده قدرت کمتری را دارند و با افزایش استغراق تغییر محسوسی در قدرت این گردابه ها ایجاد نمی شود.

۴-۲- بررسی اثر استغراق بر توپوگرافی بستر

در شکل (۸) الی (۱۳) زیر اثر استغراق بر توپوگرافی بستر در سه حالت آبشکن دافع قائم و جاذب نشان داده شده است. معلوم است که در هر سه نوع، اثر آبشکن ها بر توپوگرافی بستر در حالت غیرمستغرق بیشتر از مستغرق است. طول پشته ی رسوبی در هر سه نوع آبشکن در حالت

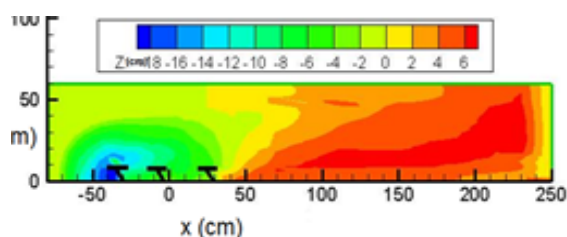
درصد رخ می‌دهد.



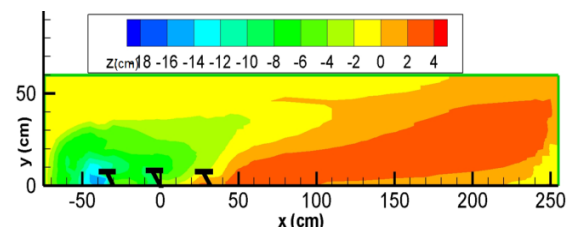
شکل (۹) تغییرات توپوگرافی بستر برای آبشكن‌های سری قائم در شرایط نزدیک آستانه حرکت و درصدهای استغراق (الف) ۰٪ (ب) ۲۵٪ (ج) ۵۰٪.

۲-۳- بررسی اثر زاویه و عدد فرود جریان بر توپوگرافی بستر

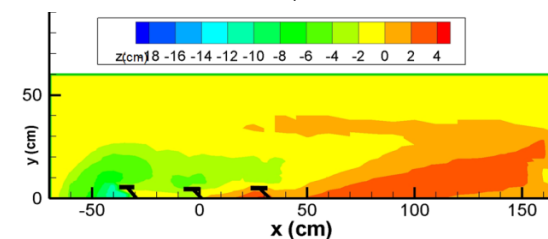
شکل (۱۱) تغییرات توپوگرافی بستر را برای عدد فرود جریان ۰/۳۴ نشان می‌دهد. در حالت غیرمستغرق بیشتر بودن پارامترهای آبستگي برای آبشكن دافع نسبت به آبشكن جاذب و دافع مشخص است. حفره آبستگي که در هر سه حالت به شکل تقریبی بیضی است مشخص است و البته در حالت دافع تمایل این بیضی به بالادست کانال را می‌توان دید. انباشت مصالح در عدد فرود مشابه برای آبشكن جاذب در نزدیک ساحل مجاور آبشكن، بیشتر از آبشكن دافع است. این گونه می‌توان از شکل‌ها فهمید که از نظر آبستگي آبشكن قائم حالتی میانه دارد.



(الف)



(ب)



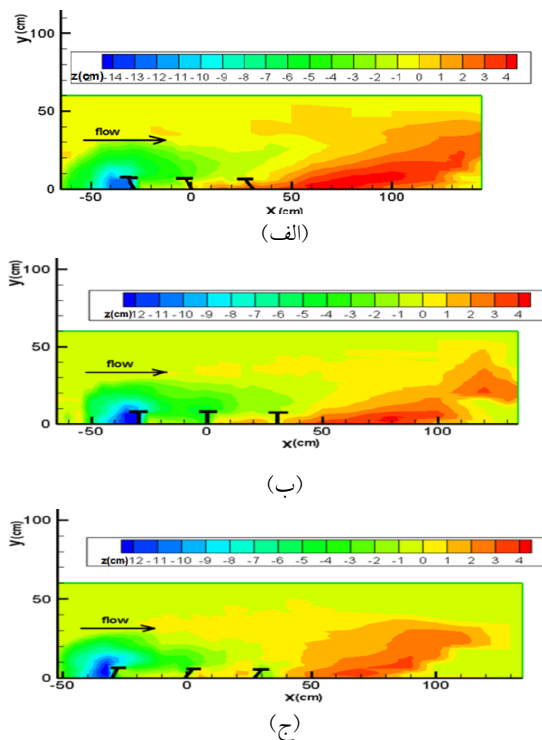
(ج)

شکل (۸) تغییرات توپوگرافی بستر برای آبشكن‌های سری دافع در شرایط نزدیک آستانه حرکت و درصدهای استغراق (الف) ۰٪ (ب) ۲۵٪ (ج) ۵۰٪.

در آبشكن قائم (شکل ۹) الگوی رسوب‌گذاری مشابه حالت دافع است هر چند نسبت به آبشكن دافع عمق بیشتر آبستگي در هر سه آبشكن و حجم گوال کمتر شده است ولی محل ارتفاع ماکزیمم پشته رسوبی و شکل هندسی گودال آبستگي شباهت زیادی به هم دارند.

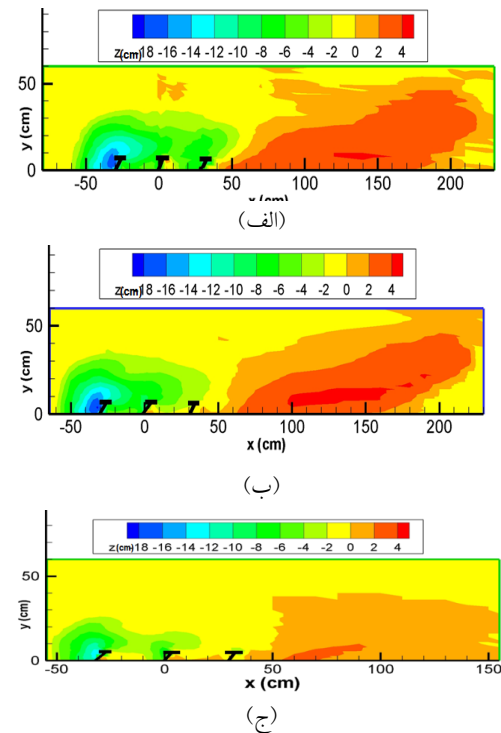
در مورد آبشكن جاذب (شکل ۱۰) باید گفت که این آبشكن کمترین مقدار پارامترهای آبستگي را دارد. محل انباشت مصالح بستر در پایین دست به ساحل مجاور آبشكن نزدیک‌تر بوده و در استغراق ۵۰ درصد چاله آبستگي حتی به آبشكن سوم هم نرسیده، و به دلیل قدرت کم گردابه‌ها در لبه آبشكن سوم آبستگي خیلی کم است. در واقع کمترین مقدار عمق آبستگي در آبشكن سوم و در حالت جاذب، در عدد فرود ۰/۲۳ و درصد استغراق ۵۰

در شکل (۱۲) تغییرات توپوگرافی بستر در آبشکن غیرمستغرق و عدد فرود ۰/۳ نشان داده شده است. همچنان که در این شکل مشخص است حجم پارامترهای آبستکی نسبت به حالت قبل کاهش یافته است. محل حفره آبستکی در آبشکن دافع همچنان به شکل بیضی و تقریباً تا پایین دست آبشکن سوم هم رسیده است. ولی در آبشکن قائم علاوه بر کاهش ابعاد این گودال بیضی شکل، ارتفاع پشته رسوبی نیز کاهش یافته است. در آبشکن جاذب گودال آبستکی شباهتی به شکل بیضی نداشته و گودال آبستکی به محل بین آبشکن دوم و سوم محدود شده و گسترش بیشتری نیافته است. انباشت مصالح بین آبشکن دوم و سوم در حالت جاذب بیشتر از قائم و در حالت قائم بیشتر از دافع است.

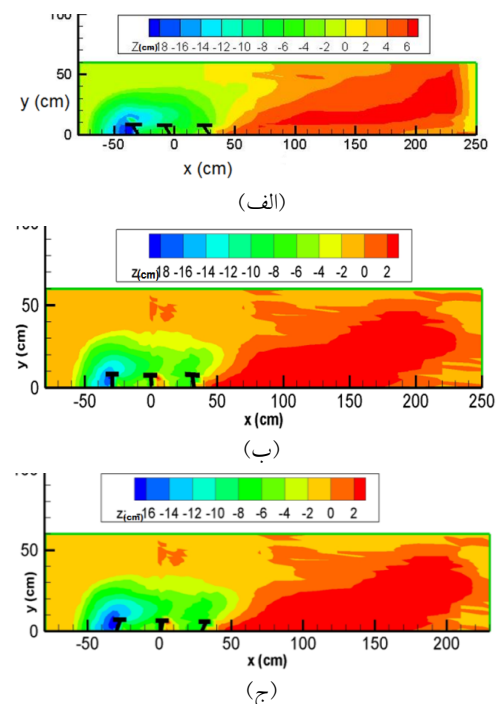


شکل (۱۲) تغییرات توپوگرافی بستر در حالت غیرمستغرق و عدد فرود ۰/۳ (الف) دافع (ب) قائم و (ج) جاذب

شکل (۱۳) تغییرات توپوگرافی بستر اطراف آبشکن



شکل (۱۰) تغییرات توپوگرافی بستر برای آبشکن‌های سری جاذب در شرایط نزدیک آستانه حرکت و درصد استغراق (الف) ۰٪ (ب) ۲۵٪ (ج) ۵۰٪



شکل (۱۱) تغییرات توپوگرافی بستر در حالت غیرمستغرق و عدد فرود ۰/۳۴ (الف) دافع، (ب) قائم و (ج) جاذب

حفاظت ساحل بوسیله آبشكن‌های سری بیشتر از آبشكن‌های منفرد است. کاهش عدد فرود و افزایش استغراق سبب کاهش پارامترهای آبستگي در نزدیکی آبشكن‌ها شد. همچنین آبشكن‌های دافع دارای آبستگي بزرگتری نسبت به آبشكن‌های جاذب و قائم بودند. همچنین با استفاده از بررسی الگوی جریان پیش‌بینی قابل قبولی در مورد الگوی آبستگي انجام شد. محل تشکیل بیشینه عمق آبستگي و محل‌های آبستگي و رسوب‌گذاری را می‌توان بر اساس الگوی جریان پیش‌بینی نمود. در واقع افزایش سرعت عمقی منفی در نواحی جلوی آبشكن‌ها به خوبی می‌تواند محل آبستگي بیشتر را نشان بدهد. همچنین کاهش سرعت طولی بین آبشكن دوم و سوم محل انباشت مصالح را نشان می‌دهد

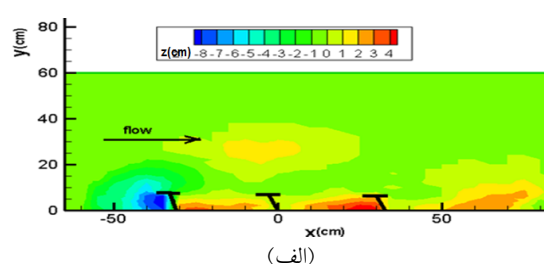
۵- مراجع

[۱] نوربخش صالح، م.، واقفی، م.، و قدسیان، م.، بررسی زمان به تعادل رسیدن توپوگرافی بستر ناشی از استغراق آبشكن سرسپری مستغرق در کانال مستقیم، ایران، تهران: دانشگاه امیر کبیر، چهارمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب، اردیبهشت (۱۳۹۰).

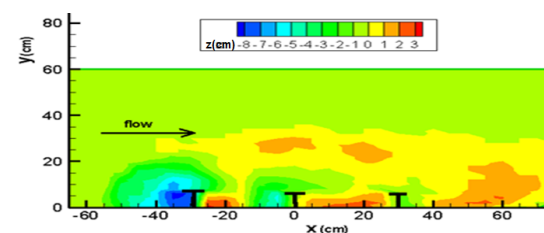
[۲] واقفی، م.، مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان و آبستگي پیرامون آبشكن‌های T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه، رساله دوره دکتری سازه هیدرولیکی، تهران: دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۸).

[۳] فرهادیان، ح.، بررسی آبستگي پیرامون آبشكن سرسپری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب، تهران: دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۷).

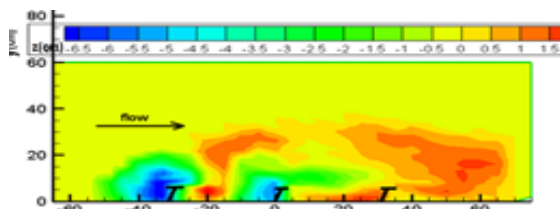
غیرمستغرق برای حالت عدد فرود ۰/۲۳ را نشان می‌دهد. در این حالت حفره بیضی شکل را در اطراف آبشكن‌ها نمی‌بینیم و یک حفره آبستگي دایره‌ای شکل حول آبشكن اول شکل گرفته است. انباشت مصالح در هر سه زاویه قرارگیری بین آبشكن اول و دوم و همچنین آبشكن دوم و سوم رخ داده است. به دلیل قدرت کمتر جریان پایین‌رونده و گردابه نعل اسبی اطراف آبشكن‌ها، هر سه آبشكن در این حالت تقریباً به صورت مجزا عمل می‌کنند



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۱۳) تغییرات توپوگرافی بستر در حالت غیرمستغرق و عدد فرود ۰/۲۳: (الف) دافع، (ب) قائم و (ج) جاذب

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی الگوی جریان و آبستگي حول آبشكن‌های سرسپری سری در مسیر مستقیم تحت تاثیر عدد فرود در حالت مستغرق و غیرمستغرق پرداخته شد.

- [6] Yasi, M. Uncertainties in the simulation of bed evolution in recirculating flow area behind groynes. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, 30(B1): 69-83, 2006.
- [7] Duan, J. Mean flow and turbulence around a laboratory spur dike. *J. Hydraul. Eng.*, 135(10): 803-811, 2009.
- [8] Duan, J., He, L., Fu, X., and Wang, Q.. Mean flow and turbulence around an experimental spur dike. *Adv. Water Resour.*, 132(12): 1717-1725, 2009.
- [4] Ezzeldin, M. M., Saafan, T. A., Rageh O. S., and Nejm, L. M., "Local scour around Spur dikes" *Eleventh International Water Technology Conference*, 779-795, (2007).
- [5] Nagata, N., Hosada T., and Nakato, T.. Three-dimensional numerical model for flow and bed deformation around river hydraulic structures. *J. Hydraul. Eng.*, 131(12): 1074-1087, 2005.

Effect of Froude Number on flow pattern and scour around T-shaped spur dikes under submerged and unsubmerged conditions

H. Hoseinzade Tabrizi¹, M. Vaghefi^{2*}, M. Ghodsian³

1- M.Sc. of Hydraulic Engineering, Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares Uni., Tehran, Iran.

2- Assistant Professor of Hydraulic Structures., Civil Engineering Dep., Persian Gulf Uni., Bushehr, Iran.

3- Professor of Hydraulic Engineering, Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares Uni., Tehran, Iran.

vaghefi@pgu.ac.ir

Abstract:

In this research, experimental study of flow and scour pattern around submerged and non-submerged series of spur dikes in straight channel were investigated. Scour pattern was investigated for three angles of spur dikes locations, three submergence ratios and three different Froude numbers. The result showed that with increasing Froude number and decreasing submergence ratio, maximum scour hole near tip of spur dike upstream decreases. Also because of the effect of series of spur dikes, the maximum scour hole is less in third spur dike in comparison to second one and in second spur dike is less in comparison to first one. With decreasing Froude number and increasing submergence ratio, the effect of series of spur dikes became less obvious and the spur dikes play role separately. The location of beginning sedimentation and amounts of it changes with variations of Froude number, spur dike submergence ratio and angles of spur dikes locations that in this paper these variations were investigated and compared. Flow pattern experiment around attractive spur dike under incipient motion and 50 percent submergence was done. This experiment was done by investigating the direction and values of three-dimensional flow velocity around in front of wing of spur dikes and around of spur dikes to estimate acceptable scour around T-shaped spur dikes.

Keywords: Scour, T shape spur dikes series, Froude number, submergence ratio, flow pattern