

بررسی آزمایشگاهی اثر طول آبشکن توری سنگی بر الگوی جریان و توپوگرافی بستر در کانال با بستر متحرک

زینب بادپا^۱، زهره حیدری^۲، مجید فضلی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه بوعلی سینا

۲- دانشجوی دکترای مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه شهید بهشتی تهران

۳- استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه بوعلی سینا

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۸/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۹/۲۹)

چکیده

آبشکن سازه‌های هیدرولیکی است که در کانال‌های روباز و رودخانه‌ها برای حفاظت دیواره‌ها در برابر فرسایش و یا انحراف و هدایت آب در جهت‌های مورد نظر ساخته می‌شود. یکی از مهم‌ترین مشکلات آبشکن، آبشستگی اطراف آن است که موجب شکست و واژگونی آبشکن می‌گردد. تعیین عمق آبشستگی به علت اینکه معرف میزان پتانسیل تخریب جریان در اطراف سازه بوده و همچنین پارامتری مهم در طراحی ابعاد فونداسیون سازه‌های مسیر جریان می‌باشد حائز اهمیت است. با توجه به این که الگوی جریان و توپوگرافی بستر به شکل قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر حضور آبشکن قرار می‌گیرد، بررسی این موارد از اهمیت بسزایی برخوردار است. برای اندازه‌گیری توپوگرافی بستر و سرعت‌های سه‌بعدی از دستگاه vectrino+ استفاده شد. سرعت‌های سه‌بعدی روی بستر متحرک اندازه‌گیری شد. به همین منظور در این تحقیق تأثیر تغییرات طول آبشکن باز توری سنگی با تخلخل ۳۰ و ۵۰ درصد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که افزایش طول آبشکن باعث افزایش حداکثر عمق آبشستگی و همچنین ابعاد حفره آبشستگی می‌شود. با توجه به نتایج آزمایش‌های الگوی جریان در این زمینه، افزایش میزان تنگ‌شدگی مقطع و به تبع آن، افزایش سرعت جریان در دماغه‌ی آبشکن به همراه توسعه جریان‌های عرضی و قائم منجر به افزایش حداکثر عمق و ابعاد حفره آبشستگی می‌شود. با افزایش طول آبشکن، محدوده‌ی تأثیر این سازه در بالادست آن بیشتر شده به طوری که تغییرات سرعت از میانه‌ی کانال عبور کرده و به دیواره‌ی مقابل نزدیک می‌شود. بیشترین مقادیر سرعت در تمام لایه‌ها، بعد از آبشکن در محدوده‌ی نزدیک به دماغه بوده که به سمت میانه‌ی کانال گسترده شده است.

واژه‌های کلیدی: آبشکن توری سنگی، الگوی جریان، توپوگرافی بستر، طول آبشکن

مقدمه

نوع آبشکن‌ها بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. آبشستگی ایجاد شده اطراف آبشکن، حاصل تغییرات رخ داده در الگوی جریان حول آبشکن می‌باشد (Vaghefi *et al.*, 2009)

Ezzeldin *et al* (2007) تحقیقاتی بر روی آبشکن تیغه‌ای با طول‌های مؤثر^۱ متفاوت (۰/۰۴، ۰/۰۷ و ۰/۱ متر) و قطر مصالح غیریکنواخت ($d_{50}=0.6$ mm) در کانالی به عرض ۰/۴ متر و طول ۱۲ متر انجام داده‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که با افزایش تنگ‌شدگی (L) ابعاد حفره‌ی آبشستگی افزایش یافته و طول بالادست حفره‌ی آبشستگی حدود دو برابر طول مؤثر آبشکن می‌باشد. هم‌چنین آنها بیان نمودند که طول بالادست و پایین‌دست حفره‌ی آبشستگی در این نوع آبشکن‌ها به ترتیب

یکی از روش‌های محافظت از ساحل و ساماندهی رودخانه، استفاده از آبشکن می‌باشد. آبشکن‌ها با اشکال و زاویه‌های متفاوت نسبت به جریان ساخته می‌شود که شناخت هر یک از پارامترهای هندسی تأثیر بسیار زیادی بر طراحی بهینه این نوع سازه‌ها می‌گذارد. از طرفی با احداث آبشکن به دلیل تمرکز جریان و آشفتنگی موضعی ایجاد شده در جریان، در مجاورت سازه پدیده‌ی آبشستگی موضعی در اطراف سازه به وقوع می‌پیوندد و موجب شسته‌شدن موضعی اطراف این نوع سازه می‌شود. اگر عمق حفره آبشستگی قابل ملاحظه باشد و این عمق به پایه‌های سازه رودخانه‌ای برسد، ممکن است پایداری پی در معرض خطر قرار گیرد و منجر به تخریب سازه و ضرر و زیان گردد. بنابراین ضروری است که آبشستگی موضعی اطراف این

۱. منظور از طول مؤثر، میزان عرض اشغال شده از کانال توسط آبشکن می‌باشد که در آبشکن‌های قائم برابر طول آبشکن و در آبشکن‌های زاویه‌دار برابر حاصلضرب طول آبشکن در سینوس زاویه آبشکن است

۲. اندازه متوسط ذرات رسوبی بستر

محدوده ۱۵-۱۰ درصد کمتر از دو مؤلفه دیگر می‌باشد.

تحقیقات نسبتاً جامعی هم توسط Chen & Ikeda (1997) در رابطه با الگوی جریان حول تک آبشکن در مسیر مستقیم انجام پذیرفت. آنان در این تحقیق به مطالعه آزمایشگاهی تشکیل، توسعه و انتقال چرخابه‌های افقی در اطراف دماغه آبشکن پرداخته و دریافتند که چرخابه‌های گذرای از نوک آبشکن جدا شده و به‌صورت متناوب به سمت پایین-دست منتقل می‌شوند. آن‌ها با آنالیز نتایج به‌دست آمده متوجه شدند که سرعت متوسط مهاجرت چرخابه‌ها تقریباً ثابت بوده و مقدار آن‌ها کمی بیشتر از ۱/۵ درصد از سرعت متوسط می‌باشد. هم‌چنین (Kuhnle (1999 با مطالعاتی که بر روی حداکثر عمق حفره‌ی آبشستگی انجام داد، به این نتیجه رسید که در جریان-های با عمق کم، حداکثر عمق آبشستگی در دماغه آبشکن شکل گرفته و با افزایش عمق جریان، این مکان به سمت وسط آبشکن حرکت می‌نمود.

Mioduszewski *et al* (2003) از مطالعات آزمایشگاهی خود بر روی الگوی جریان و آبشستگی آبشکن‌های باز و بسته چنین نتیجه‌گیری کردند که الگوی جریان بین این آبشکن‌ها با هم بسیار متفاوت است و انتظار می‌رود که جریان عبوری از منافذ آبشکن باز بر روی جریان، ته‌نشینی و الگوی آبشستگی در پایین‌دست آبشکن تأثیر بسیار زیادی بگذارد.

Rajaratnam and Nwachukwu (1983) به بررسی الگوی جریان اطراف آبشکن تیغه‌ای در مسیر مستقیم پرداختند و مشاهده کردند که حداکثر تنش برشی ۳ تا ۵ برابر تنش برشی بالادست آبشکن است و در نوک بالادست آبشکن رخ می‌دهد. Uijttewaal (2005) با مشاهده اثر هندسه آبشکن بر روی میدان جریان در اطراف آن نتیجه گرفت که نسبت طول به عرض ناحیه جدادگی آبشکن می‌تواند بیانگر تعداد و شکل گردابه‌های نمایان شده در ناحیه جریان ایستا باشد و هنگامی که این نسبت نزدیک به یک است، یک گردابه ایجاد می‌شود و اگر این نسبت بزرگتر شود فضای کافی برای دو گردابه پایدار ایجاد خواهد شد. در این حالت این گردابه بزرگ که گردابه اولیه نام دارد در قسمت پایین‌دست میدان آبشکن و یک گردابه کوچکتر به نام گردابه ثانویه در نزدیک بالادست آبشکن ظاهر می‌شود.

Peng *et al* (1997) الگوی جریان حول آبشکن را مورد-مطالعه قرار دادند و دریافتند که با نزدیک شدن به بخش‌های بالایی آبشکن، ابعاد گردابه‌های ایجاد شده در پشت آبشکن به-طور تدریجی کاهش می‌یابد. (Tominaga *et al* (2001 با مطالعه جریان در کانال‌های حاوی آبشکن مستغرق و غیرمستغرق به این نتیجه رسیدند که سرعت طولی جریان باعث بالا رفتن جت

حدود دو و سه برابر حداکثر عمق آبشستگی می‌باشد. Elawady *et al* (2001) با آزمایش‌هایی که در کانالی به عرض ۰/۴ متر، ارتفاع ۰/۴ متر و طول ۱۸ متر با عمق جریان ۰/۰۵ - متر و مصالح بستر ۰/۷۵ میلی‌متر برای آبشکن تیغه‌ای با طول-های ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ متر در مدت ۳۰۰ دقیقه در شرایط آستانه حرکت انجام دادند، با معرفی ضریب بازشدگی α (نسبت مقطع جریان عبوری در محل آبشکن به کل مقطع جریان عبوری در کانال)، افزایش زمان تعادل با کاهش درصد بازشدگی را مشاهده کردند. به‌طوری‌که زمان تعادل، در نسبت بازشدگی ۰/۸۱ معادل ۲۴۰ دقیقه و برای نسبت بازشدگی ۰/۹۴ این مقدار به ۱۵۰ دقیقه رسید و هم‌چنین آنها در انتهای آزمایش‌های الگوی آبشستگی در اطراف آبشکن‌های با طول مختلف، به این نتیجه رسیدند که با افزایش طول آبشکن، عمق آبشستگی افزایش می‌یابد.

Kuhnle (2002) با آزمایش‌هایی که بر روی آبشستگی اطراف آبشکن دوزنقه‌ای در سه زاویه نسبت به پایین‌دست کانال مجاور (۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) و در دو نسبت تنگ‌شدگی ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ انجام داد به این نتیجه رسید که آبشکن زاویه ۴۵ درجه بیشترین آبشستگی را در مجاورت ساحل داشته، در حالی که برای آبشکن‌های ۹۰ و ۱۳۵ درجه آبشستگی کمتر مشاهده شده است. هم‌چنین ایشان برای عمق‌های مختلف جریان و نسبت‌های مختلف تنش‌برشی، حجم آبشستگی را در آبشکن ۱۳۵ درجه بیشتر مشاهده نمود و بهترین زاویه برای قرارگیری آبشکن را به دلیل پتانسیل کمتر فرسایش بستر در نزدیک ساحل، ۱۳۵ درجه گزارش داد. در حالی‌که در این حالت بیشترین حجم آبشستگی مشاهده شده است.

تحقیق دیگری که می‌توان به آن اشاره نمود مطالعه Duan (2009) می‌باشد که به مطالعه ساختار جریان‌های متوسط و آشفته حول آبشکن مستقیم واقع در یک کانال آزمایشگاهی با بستر صلب و تخت پرداخت. وی برای اندازه‌گیری میدان جریان از دستگاه سرعت‌سنج ADV استفاده نموده و میدان جریان را در هشت لایه عمقی و در محدوده‌های بالادست و پایین‌دست تک‌آبشکن، اندازه‌گیری نمود. بر اساس یافته‌های Duan (2009)، 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 مؤلفه تنش‌های قائم رینولدز با عبور از مقطع آبشکن تشدید شده و حداکثر تنش در عمق میانی کانال و در امتداد لایه تنش‌برشی اتفاق می‌افتد. حداکثر مقدار تنش‌های قائم مؤلفه‌های طولی و عرضی سرعت، نزدیک به هم بوده، ولی حداکثر تنش قائم مؤلفه قائم سرعت، در

که مشهود است تحقیقات متعددی در زمینه آبشکن‌های باز میله‌ای و بسته صورت گرفته است اما تاکنون هیچ تحقیق جامع و کاملی در زمینه آبشکن‌های توری‌سنگی به عنوان آبشکن باز صورت نگرفته است. با توجه به مزایای آبشکن، در تحقیق حاضر به بررسی اثر طول آبشکن باز توری‌سنگی بر الگوی جریان و توپوگرافی بستر در کانال مستقیم پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی عمران دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. فلوم مورد استفاده در این پژوهش یک فلوم بتنی با شیب صفر مجهز به مخزن با طول ۱۳ متر، ارتفاع ۰/۸۵ متر و عرض ۰/۸ متر و گنجایشی حدود ۱۰ مترمکعب آب است.

در شکل (۱) تصاویری شماتیک از فلوم و ابزارهای جانبی آن نشان داده شده است. فلوم به طول ۱۵ متر و عرض و ارتفاع ۰/۶ متر با دیواره‌ها و کف شفاف از جنس شیشه ۱ سانتی‌متر می‌باشد. یک سرریز مستطیلی برای اندازه‌گیری دبی جریان و یک دریچه برای تنظیم عمق جریان در انتهای کانال در نظر گرفته شد. کف فلوم به اندازه ۰/۳ متر بالا آورده شده و فضایی به طول دو متر به فاصله ۵/۵ متری از ابتدای کانال با استفاده از مصالح با قطر متوسط (d₅₀) ۱/۵۵ میلی‌متر و σ_g به مقدار ۱/۲۶ پر شده است. این مقدار از رابطه زیر و با توجه به منحنی دانه‌بندی تعیین می‌شود.

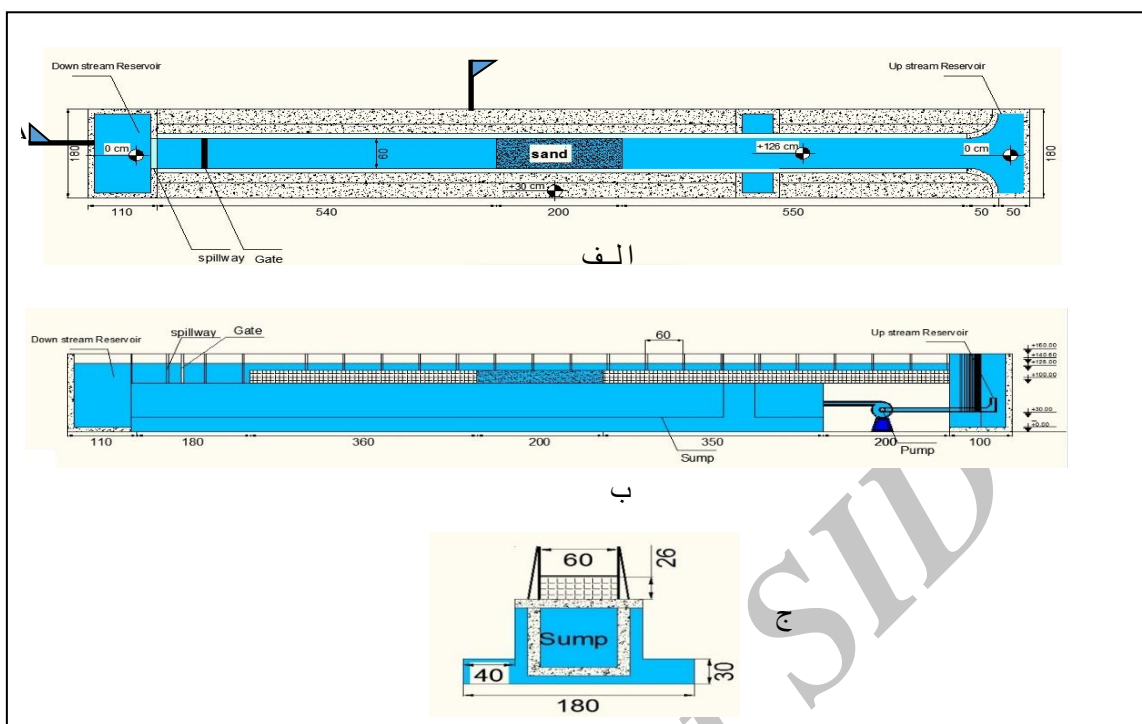
$$\sigma_g = \left(\frac{d_{84}}{d_{16}}\right)^{0.5} = 1.258 \quad (\text{رابطه ۲})$$

با توجه به اینکه مقدار σ_g از ۱/۵ کمتر است، می‌توان از اثر غیریکنواختی رسوبات صرف‌نظر کرد (Yang, 1940). کف کانال مذکور به شکلی طراحی شد که شیب ۰/۰۰۱ در کانال ایجاد شود. بدین منظور، کف کانال از ابتدا تا انتها به وسیله صفحات کارتن‌پلاست پوشش داده شده و به این صفحات شیب ۰/۰۰۱ داده شد. برای یکسان‌سازی زبری همه طول کانال، نواحی که با کارتن‌پلاست مرتفع شده بود، توسط یک پوشش چسبنده به نام دوغامین پوشیده شد. دوغامین یک نوع پلاستر از پوشش طبیعی و براساس سنگ‌دانه‌های طبیعی است. این پلاستر با سنگدانه‌های به قطر مختلف در بازار یافت می‌شود که به منظور هماهنگی آن با مصالح مورد استفاده، از دوغامین با سنگدانه‌های دارای قطر متوسط مشابه مورد استفاده در آزمایش‌ها استفاده شد. شیب تعبیه شده و هم‌چنین فاصله ۵/۵ متری از ابتدا به منظور اطمینان از توسعه‌یافتگی جریان در نظر گرفته شد. آبشکن‌ها در قسمت میانی این فضای دومتری پر شده از مصالح و در جداره سمت چپ نصب گردید. نمودار دانه‌بندی مصالح بستر در شکل (۲) نشان داده شده است.

جریان تاج آبشکن در شرایط مستغرق می‌شود. (McCoy et al (2006) به بررسی میدان‌های جریان در اطراف و بین دو آبشکن عمودی در یک کانال باز مستقیم پرداختند که از خصوصیات جریان، جدایی‌های بزرگ، اختلاف فشار آشکار بین بالادست و پایین‌دست آبشکن و ایجاد گردابه‌های ناماندگار می‌باشد. آنان از روش عددی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ استفاده نموده و گزارش کردند که در جریان اصلی، گردابه‌های نعل‌اسبی ناماندگار در پایه‌ی آبشکن‌ها و در بالادست جریان ایجاد می‌گردد. هم‌چنین جدا شدن لایه‌ی برشی در بالا-دست نوک آبشکن باعث تشکیل گردابه‌های بعدی می‌شد که این گردابه‌ها در اندرکنش با گردابه‌های داخل دو آبشکن قابل تشخیص می‌باشد. (Jarrahzade et al (2017) چاله آبشستگی در حضور سه نوع آبشکن نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندال لایک (ترکیبی از آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر) را بررسی کردند. آنها دریافتند که حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن نفوذناپذیر با زاویه ۹۰ درجه اتفاق می‌افتد، در حالی که در آبشکن‌های دیگر در زاویه ۱۲۰ درجه اتفاق می‌افتد. (Shahabi and Kashefipour (2017) اثر نفوذپذیری آبشکن‌های سری بر روی چاله آبشستگی را بررسی کردند. آنها دریافتند که در اعداد فرود ثابت، با افزایش نفوذپذیری آبشکن، آبشستگی به میزان زیادی کاهش می‌یابد و برای نفوذپذیری ۳۳ درصد، عمق، طول و عرض آبشستگی در مقایسه با حالت نفوذناپذیر به ترتیب ۶۳/۹، ۳۸/۱ و ۳۵/۵ درصد کاهش می‌یابد. (Kermannejad et al (2011) به بررسی رابطه تخلخل با حداکثر عمق آبشستگی آبشکن‌های L شکل با زبانه به سمت بالادست و پایین‌دست در شرایط آب زلال پرداختند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی ایجاد شده در آبشکن L با زبانه به سمت پایین‌دست، در محل تلاقی زبانه با محور آبشکن رخ داده است در حالی که برای آبشکن با زبانه به سمت بالادست این مقدار در فاصله بین زبانه و دیواره فلوم اتفاق افتاده است. (Abbasi et al (1997) به بررسی آزمایشگاهی عمق آبشستگی دماغه در آبشکن‌های L شکل و مستقیم سری پرداختند و فرمول زیر را ارائه نمودند. نتایج حاصل از آزمایشگاه و فرمول با هم مقایسه شد. نهایتاً نتایج با ۲۵ درصد خطا از فرمول زیر حاصل گشت.

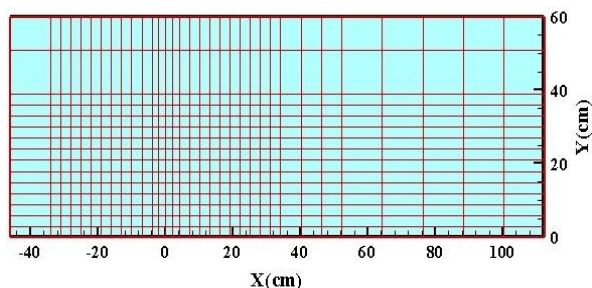
$$\frac{d_2}{d_1} = k_s F_0^{\frac{1}{3}} \left(\frac{S}{d_1}\right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{L}{d_1}\right)^{\frac{1}{6}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

با توجه به این‌که ساماندهی رودخانه‌ها و احداث آبشکن همواره مستلزم صرف هزینه‌های زیادی است، لزوم طراحی درست و مطمئن آبشکن‌ها و پیش‌بینی درست الگوی جریان و توپوگرافی بستر حول آن‌ها به منظور اجتناب از خسارات‌های بعدی ناشی از طراحی نادرست، بسیار ضروری است. همان‌طور

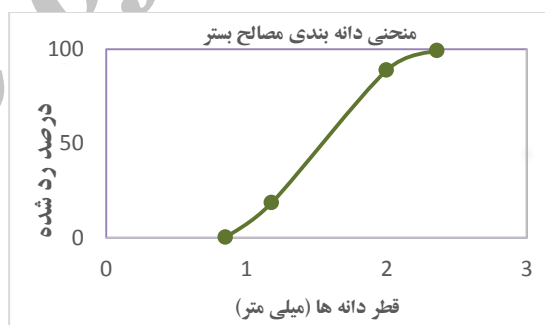


شکل ۱. نمای شماتیک از کانال مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها: الف) پلان ب) برش A-A ج) برش B-B

اندازه‌گیری آبشستگی بستر، به صورت شکل (۳) شبکه‌بندی نموده و تراز نقاط شبکه با استفاده از دستگاه ADV برداشت در فایل‌های اکسل ذخیره شد. به منظور تسهیل در برداشت سرعت، اطراف آبشکن به صورت سه‌بعدی شبکه‌بندی شد. شبکه‌بندی به این صورت طراحی شد که در محدوده‌ی نزدیک آبشکن که تغییرات الگوی جریان قابل توجه است، مقاطع برداشت نزدیک به هم و در فواصل کوتاه‌تری تعریف شده و با دور شدن از آبشکن فاصله مقاطع به تدریج بیشتر شده است. به طور کلی تعداد ۱۸ مقطع طولی و ۱۱ مقطع عرضی تعریف گردید. برداشت‌ها در چهار سطح ارتفاعی در عمق‌های ۰/۵ سانتی‌متر از کف، ۰/۵ سانتی‌متر از سطح آب و عمق‌های ۵ و ۱۰ سانتی‌متر صورت گرفته است. شکل (۴) مش‌بندی مربوط به برداشت سرعت را نشان می‌دهد.



شکل ۳. پلان مش‌بندی کانال برای برداشت آبشستگی

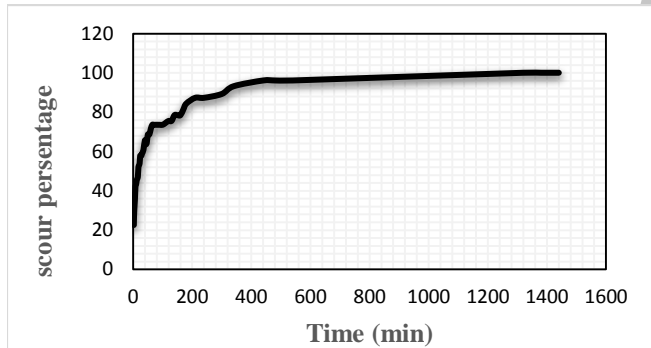


شکل ۲. منحنی دانه‌بندی مصالح مورد استفاده جهت بستر فرسایش‌پذیر

به منظور اندازه‌گیری سرعت جریان در جهات مختلف از دستگاه ADV استفاده شد. این سرعت‌سنج قابلیت اندازه‌گیری سرعت جریان در سه جهت را داراست. به منظور اندازه‌گیری مقدار آبشستگی نیز از دستگاه ADV استفاده شد. دستگاه قابلیت اندازه‌گیری فاصله از کف در داخل آب را داراست. از این رو با در نظر گرفتن سطح مبنای مشخص، مقادیر فاصله از کف برداشت‌شده در هر نقطه از مقدار مبنا کسر شده و آبشستگی آن نقطه حاصل شد. با توجه به این که دستگاه ADV از لحاظ دقت اندازه‌گیری نسبت به دستگاه‌های عمق‌سنج نقطه‌ای و دیجیتالی بسیار دقیق‌تر و با درصد خطای کمتری می‌باشد و کاربرد در قرائت آن دخیل نمی‌باشد (خطاهای ناشی از خطای دید و خطاهای مربوط به کاربرد در آن به صفر می‌رسد)، دستگاه مربوطه به منظور اندازه‌گیری آبشستگی انتخاب شد. برای

زمان تعادل

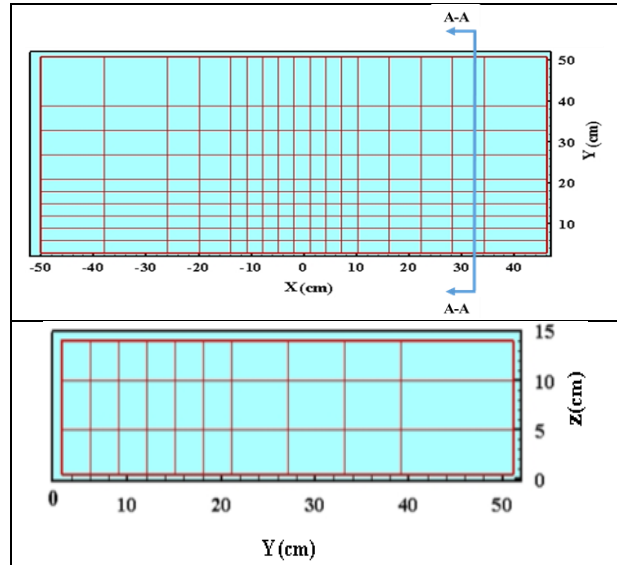
زمان تعادل نسبی توسط آزمایش‌های جداگانه‌ای انجام گرفت. نحوه انجام آزمایش‌های زمان تعادل به این صورت بود که عمق آبشستگی در زمان‌های مختلف ثبت شده و سپس از روی منحنی ترسیمی، زمان تعادل نسبی تعیین گردید. عمق آبشستگی در این آزمایش‌ها در نیم ساعت اول هر دو دقیقه یک بار، در نیم ساعت دوم هر ۵ دقیقه یک بار، در یک ساعت بعدی هر ۱۰ دقیقه و در یک ساعت بعد از آن هر ۲۰ دقیقه یک بار اندازه‌گیری شد و از آن به بعد به مدت ۲۴ ساعت هر ۳۰ دقیقه یک بار اندازه‌گیری شد. نهایتاً نمودار ترسیم شده نشان می‌دهد که پس از مدت زمانی، گسترش آبشستگی کند شده و این زمانی است که به عنوان زمان تعادل نسبی برای تمام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. در شکل (۶) نمودار زمان تعادل نشان داده شده است. طبق نمودار از ساعت نهم به بعد با کاهش قابل توجه سرعت آبشستگی مواجه هستیم، به طوری که در ۵۴۰ دقیقه ابتدایی، حدود ۹۵ درصد میزان آبشستگی اتفاق افتاده است. به همین دلیل زمان تعادل آزمایش‌ها، ۵۴۰ دقیقه در نظر گرفته شده است.



شکل ۶. منحنی درصد آبشستگی در زمان‌های مختلف مربوط به آزمایش زمان تعادل

نحوه انجام آزمایش‌ها

جهت انجام آزمایش‌ها ابتدا آبشکن در محل تعیین شده نصب گردید. سپس سطح بستر صاف شده و دریچه در محل مشخص قرار داده شد تا ارتفاع آب بعد از برقراری جریان به مقدار تعیین شده توسط فرمول آستانه حرکت برسد. انتهای کانال بسته شده و آب به تدریج از ابتدای کانال وارد گشته تا ارتفاع آب روی رسوبات افزایش یابد و به حدی بالاتر از عمق آستانه حرکت برسد. درجه دبی پمپ در مقدار تعیین شده تنظیم شده و سپس انتهای کانال آزاد و جریان برقرار می‌شود. مقادیر آبشستگی بعد از زمان تعادل مذکور برای آزمایش‌ها، با استفاده از دستگاه ADV اندازه‌گیری می‌شود. در این آزمایش‌ها عدد



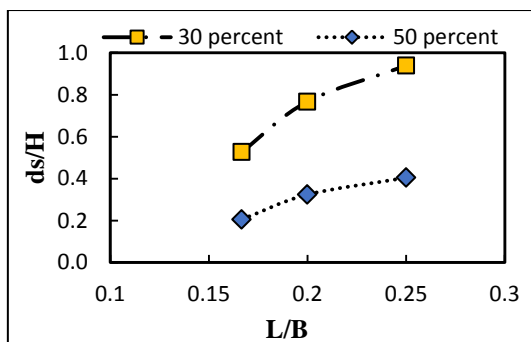
شکل ۴. مش بندی کانال برای برداشت الگوی جریان الف) پلان ب) برش A-A

آبشکن‌های مورد استفاده در این پژوهش، از جنس مصالح سنگی با وزن مخصوص مشخص بوده که با توری‌های فلزی (با درصد بازسنگی و سوراخ‌های متناسب با درصد تخلخل) پوشیده شده‌اند. برای انجام آزمایش‌ها، آبشکن‌هایی به طول ۰/۱۲، ۰/۱۵ و ۰/۱۵ متر و تخلخل ۳۰ و ۵۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت. به منظور انتخاب طول آبشکن برای انجام آزمایش‌ها، عموماً درصدی از عرض کانال در نظر گرفته می‌شود. در مراجع مختلف حداکثر طول اتخاذ شده برای آبشکن‌ها ۲۵ درصد عرض کانال می‌باشد. با توجه به این که عرض کانال ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد، طول آبشکن‌ها ۱۶/۶۷، ۲۰ و ۲۵ درصد عرض کانال (یا به عبارتی $\frac{1}{6}$ ، $\frac{1}{5}$ و $\frac{1}{4}$ عرض کانال) در نظر گرفته شد. به منظور ساخت آبشکن‌ها، توری‌هایی به طول ۰/۱، ۰/۱۲ و ۰/۱۵ متر و ارتفاع ۰/۶ و ضخامت ۰/۰۲ متر تعبیه شده و با مصالحی به وزن مخصوص مشخص پر شد. برای ایجاد تخلخل مورد نظر ابتدا وزن مخصوص سنگدانه‌های مورد نظر با استفاده از آزمایش استاندارد تعیین چگالی اندازه‌گیری شد. سپس به این صورت عمل شد که به ازای تخلخل مورد نظر با مشخص بودن حجم هر توری، حجم سنگ مورد استفاده محاسبه و با مشخص بودن وزن مخصوص سنگ، وزن سنگ مورد نیاز بدست آمد. سپس آن قدر به توری سنگ اضافه شد تا به وزن تعیین شده برسد.



شکل ۵. توری‌های مورد استفاده در ساخت آبشکن توری سنگی

می‌یابد. افزایش تنگ‌شدگی مقطع در محل نصب آبشکن موجب افزایش اختلاف فشار هیدرواستاتیکی بالادست و پایین‌دست مقطع تنگ‌شده می‌شود که موجبات تشدید گردابه‌های قائم در ناحیه مذکور را فراهم می‌آورد. افزایش سرعت و انحراف بخش بیشتری از جریان به سمت دماغه یا به عبارتی افزایش جریان-های عرضی از دیگر تبعات افزایش طول آبشکن می‌باشد. توسعه‌ی جریان‌های عرضی و گردابه‌های قائم منجر به تشدید گردابه‌های نعل‌اسبی می‌گردد. با افزایش قدرت گردابه‌های نعل-اسبی، قدرت کف‌کنی و توان حمل رسوب جریان افزایش یافته و در هم‌سو شدن با جریان اصلی و پر قدرت کانال منجر به افزایش عمق آبشستگی می‌شود.



شکل ۷. منحنی تغییرات حداکثر عمق آبشستگی در طول‌های مختلف

مشاهده می‌شود که برای درصد تخلخل‌های کمتر، مقادیر حداکثر عمق آبشستگی به مراتب بیشتر می‌باشد. برای تخلخل ۵۰ درصد سطح نمودار به مقدار قابل توجهی پایین‌تر از تخلخل ۳۰ درصد است. این امر به دلیل عبور مقدار بسیار بیشتر جریان از لابه‌لای سنگدانه‌های آبشکن می‌باشد. با افزایش مقدار جریان عبوری از میدان آبشکن، سرعت جریان در دماغه آبشکن کاهش یافته و این جریان تقریباً پرسرعت، در تشکیل گردابه‌های قبل، بعد و دماغه‌ی آبشکن اختلال ایجاد می‌کند. با این تفاسیر واضح است که حداکثر عمق آبشستگی به شدت کاهش می‌یابد؛ چرا که علت اصلی وقوع آبشستگی در دماغه، گردابه‌های تشکیل شده و میزان سرعت جریان طولی در دماغه است.

در آبشکن‌های با تخلخل پایین به علت ریز بودن مصالح مورداستفاده برای ساخت آبشکن، عمق آبشستگی به مراتب بیشتر است و شیب تندتر نمودار نشان‌دهنده‌ی شدت بیشتر تغییرات عمق آبشستگی حداکثر می‌باشد. آبشکن‌های توری-سنگی با تخلخل کم، دارای تخلخل مؤثر (فضای خالی مرتبط با هم) کمتری هستند، از این رو نفوذپذیری آن‌ها کمتر و آبشستگی آن‌ها بیشتر از حد مورد انتظار است.

در شکل زیر تغییرات پروفیل طولی برای آبشکن قائم با

فرود جریان ثابت و برابر ۰/۲۶ بود. هم‌چنین عمق جریان در مجموعه آزمایش‌ها مقدار ۱۴/۶ سانتی‌متر بوده که با توجه به دبی و از فرمول آستانه حرکت استخراج شده است. آزمایش‌ها به این صورت انجام می‌شد که پس از به تعادل رسیدن بستر و برداشت آبشستگی، برداشت الگوی جریان با استفاده از دستگاه ADV آغاز می‌شد. در جدول زیر شرایط هندسی و هیدرولیکی جریان مختصراً عنوان شده است.

جدول ۱. مشخصات هندسی و هیدرولیکی آزمایش‌ها	
پارامتر	محدوده تغییرات
دبی	۲۸ لیتر بر ثانیه
عدد فرود	۰/۲۶
زاویه	۹۰ درجه
نوع آبشکن	آبشکن با تخلخل ۳۰ و ۵۰ درصد
عمق جریان در بالادست	۱۴/۶
طول آبشکن	۱۰، ۱۲ و ۱۵ سانتی‌متر
اندازه متوسط ذرات رسوبی	۱/۵۵ میلی‌متر

نتایج و بحث

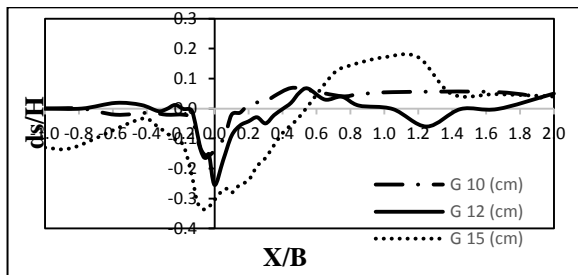
بررسی اثر طول آبشکن بر توپوگرافی بستر

در این بخش، اثر تغییرات طول آبشکن متخلخل با تخلخل ۵۰ درصد بر حداکثر عمق آبشستگی، پروفیل‌های طولی و عرضی و توپوگرافی بستر در قالب نمودارها و منحنی‌های تراز ارائه شده است.

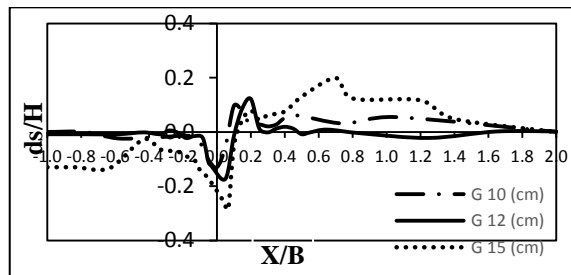
یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش، حداکثر عمق آبشستگی است. حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن‌ها عموماً در نزدیکی دماغه آبشکن رخ می‌دهد. دلیل این امر، تمرکز جریان و افزایش قابل توجه سرعت در دماغه آبشکن و هجوم جریان منحرف‌شده به طرف محل مذکور است. همان‌طور که در نمودار تغییرات حداکثر عمق آبشستگی آبشکن قائم مشاهده می‌شود، در این نوع آبشکن با افزایش طول، حداکثر عمق آبشستگی برای همه تخلخل‌ها افزایش یافته است. هم‌چنین در طول‌های کمتر آبشکن، شیب نمودار تندتر بوده؛ به-عبارتی شدت افزایش حداکثر عمق آبشستگی بیشتر است و در طول‌های بیشتر، از این شدت کاسته شده و روند افزایش حداکثر عمق آبشستگی تعدیل شده است. لازم به ذکر است که در نمودار شکل (۷) محور افقی، طول آبشکن بوده که نسبت به عرض کانال بی‌بعد شده است و محور عمودی نسبت آبشستگی به عمق جریان را نشان می‌دهد.

با افزایش طول آبشکن میزان تنگ‌شدگی مقطع افزایش

آن در بالادست و پایین دست آبشکن اندکی کمتر است، اما در مقطعی که در محدوده‌ی دماغه آبشکن واقع است، هم عمق حفره و هم طول حفره آبشستگی بیشتر می‌باشد. این امر به دلیل تغییرات عمده الگوی جریان در دماغه بوده که به سمت بالادست و پایین دست به میزان قابل توجهی توسعه می‌یابد، چراکه برخورد جریان‌های قائم و عرضی گردابی و محل افزایش آنی سرعت طولی جریان، در این ناحیه می‌باشد.



ب) پروفیل طولی بستر - مقطع دماغه آبشکن



الف) پروفیل طولی بستر - مقطع وسط آبشکن

شکل ۸. پروفیل طولی بستر برای آبشکن‌های قائم با درصد تخلخل ۵۰: الف) مقطع میانه‌ی آبشکن ب) مقطع دماغه آبشکن

عرض همراه است. با افزایش طول آبشکن، همان‌طور که قبلاً ذکر شد، میزان تنگ‌شدگی مقطع افزایش می‌یابد. این امر علاوه بر افزایش سرعت جریان، باعث افزایش قدرت گردابه‌ها و تأثیرگذاری روی محدوده‌ی بیشتری از بستر می‌شود. به همین دلیل است که نه تنها عمق حفره آبشستگی به‌طور کلی افزایش می‌یابد بلکه محدوده‌ی وسیع‌تری از پیرامون آبشکن تحت الشعاع قرار خواهد گرفت و مصالح بستر در آن ناحیه شسته می‌شود. به‌طور کلی در نزدیکی دیواره، سرعت جریان در بالادست آبشکن بیشتر است و جریان‌های برگشتی پس از برخورد به آبشکن، مصالح نزدیک به آبشکن را تحت تأثیر خود قرار داده و ناحیه وسیع‌تری دچار آبشستگی می‌گردد اما در ناحیه نزدیک به آبشکن در پایین دست، جریان مستهلک‌شده عبوری از لابه‌لای سنگدانه‌های آبشکن، جریان بازگشتی از پایین دست را تعدیل نموده و باعث کم شدن میزان آبشستگی در این ناحیه می‌شود. برای همه مقاطع نشان داده شده، افزایش طول آبشکن باعث عمق حفره، با افزایش طول، از دیواره مجاور به سمت دیواره مقابل منتقل شده است که به دلیل تغییر طول و تغییر جایگاه دماغه آبشکن می‌باشد؛ چرا که حداکثر عمق حفره آبشستگی عموماً در نزدیکی دماغه آبشکن رخ می‌دهد.

شکل (۱۰) توپوگرافی بستر برای آبشکن قائم در طول‌های ۱۰، ۱۲ و ۱۵ سانتی‌متر (یا به عبارتی $\frac{1}{6}$ ، $\frac{1}{5}$ و $\frac{1}{4}$ عرض کانال) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود که

تخلخل ۵۰ درصد در مقاطع وسط و دماغه‌ی آبشکن، نشان داده شده است. لازم به توضیح است که محور افقی، محور طولی کانال است که نسبت به عرض کانال بی‌بعد شده است و محور عمودی نسبت آبشستگی به عمق جریان می‌باشد. در آبشکن با طول بیشتر مشاهده می‌شود که حفره آبشستگی عمیق‌تر و تپه‌ی رسوبی ایجادشده در پایین دست آن مرتفع‌تر است. در مقطع واقع در میانه‌ی طول آبشکن، عمق حفره مذکور بیشتر و طول

هم‌چنین مشاهده می‌شود که عمده رسوب‌گذاری در نزدیکی دیواره اتفاق افتاده است و به نظر می‌رسد که جریان عبوری از دماغه آبشکن مصالح بستر را به سمت دیواره کانال هدایت کرده است. این فرآیند مورد انتظار بوده و با توجه به فلسفه ساخت آبشکن، منطقی به نظر می‌رسد (با توجه به این نکته که یکی از اصلی‌ترین دلایل ساخت آبشکن حفاظت ساحل است).

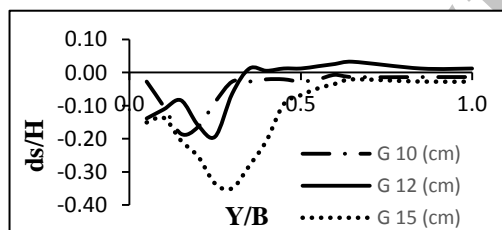
برای آبشکن‌های کوتاه‌تر در مقطع میانه‌ی آبشکن، در پایین دست آبشکن محدوده حفره در طول کمتری به پایان رسیده است، در حالی که در بالادست آبشکن افزایش بعد حفره آبشستگی مشاهده می‌شود.

به نظر می‌رسد که در بالادست کانال، برای آبشکن‌های کوتاه‌تر حفره اندکی کوچک‌تر و کم‌عمق‌تر است. اما با افزایش طول آبشکن، حفره عمیق‌تر شده و تأثیر مخرب‌تری بر پایه‌ی آبشکن خواهد داشت. در مقطع نزدیک به دماغه آبشکن، محدوده‌ی حفره‌ی آبشستگی تا حدودی بزرگ‌تر از مقاطع نزدیک‌تر به جداره است. با افزایش طول آبشکن، حفره آبشستگی در همه نواحی عمیق‌تر شده و محدوده‌ی وسیع‌تری به خود اختصاص می‌دهد.

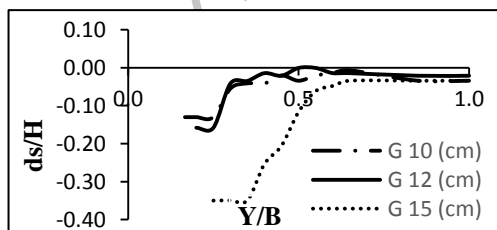
در شکل (۹) پروفیل عرضی در مقاطع قبل، بعد و مرکز آبشکن نشان داده شده است. محور افقی نمودار نسبت به عرض کانال و محور عمودی (آبشستگی) نسبت به عمق جریان بی‌بعد شده است. در همه مقاطع مشاهده می‌شود که افزایش طول آبشکن با افزایش ابعاد حفره آبشستگی، هم در عمق و هم در

از بستر را تحت‌الشعاع خود قرار داده است و با افزایش طول آبشکن، گردابه‌های ایجاد شده در خلال آزمایش‌ها به همی نواحی بستر نفوذ کرده و موجب تغییراتی در شکل بستر شده است. این موضوع نشان‌دهنده‌ی انحراف شدید جریان در مقطع آبشکن بوده که در صورت برخورد با دیواره‌ی مقابل، خالی از اشکال نیست. از این رو به نظر می‌رسد که طول ۱۵ سانتی‌متر برای آبشکن که معادل ۲۵ درصد عرض کانال است، برای طراحی این سازه مناسب نیست و طول‌های کمتر به میزان بیشتری اهداف ساخت این سازه را محقق می‌کند.

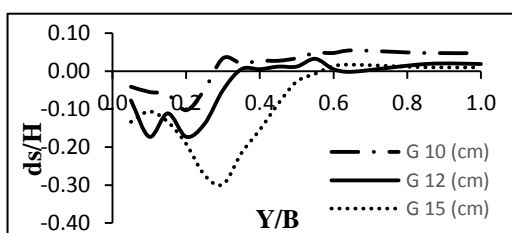
لازم به ذکر است که در همی شکل‌ها مبدأ مختصات، محل قرارگیری آبشکن می‌باشد. جهت جریان از چپ به راست بوده که همان جهت مثبت محور X می‌باشد. جهت مثبت محور Y از سمت دیواره مجاور (محل اتصال آبشکن) به سمت دیواره-ی مقابل می‌باشد. هم‌چنین در تمامی شکل‌ها مربوط به پارامتر-های طول آبشکن، مقادیر طول و عرض کانال نسبت به عرض کانال (Y/B و X/B) و مقادیر آبشستگی نسبت به عمق جریان (d_s/H) بی‌بعد شده‌اند. مقادیر آبشستگی و رسوب‌گذاری در توپوگرافی بستر با اعداد رنگی، کنار و داخل شکل‌ها مشخص شده است.



مقطع ۳ سانتی‌متری قبل آبشکن



مقطع آبشکن



مقطع ۳ سانتی‌متری بعد آبشکن

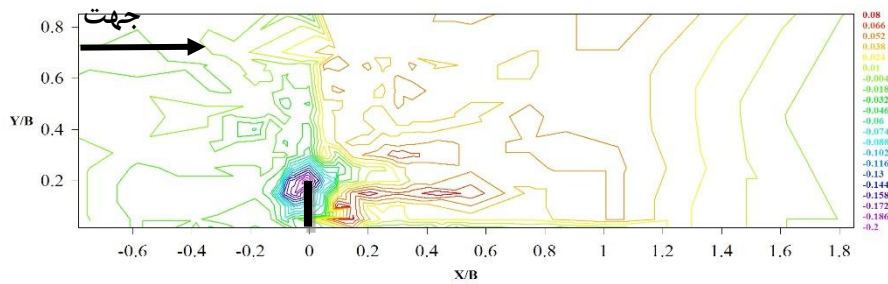
با افزایش طول آبشکن، حفره آبشستگی در عرض کانال بزرگ‌تر شده و تمرکز مقادیر حداکثر آبشستگی از دماغه آبشکن به سمت دیواره‌ی مقابل انتقال یافته است و حفره آبشستگی در همه نواحی عمیق‌تر شده است. با افزایش طول آبشکن، میزان تنگ‌شدگی مقطع، افزایش پیدا می‌کند. این امر با کاهش عرض و عمق جریان عبوری مواجه بوده که افزایش سرعت جریان را نتیجه می‌دهد. افزایش سرعت طولی جریان با افزایش جریان-های پایین‌رونده قبل از آبشکن و افزایش قدرت و انحراف جریان‌های عرضی همراه شده و موجبات افزایش توان حمل رسوب جریان را فراهم می‌کند. گردابه‌های نعل‌اسبی ناشی از جریان‌های ثانویه (جریان‌های قائم و عرضی) در فاصله‌ی دماغه آبشکن تا ساحل مقابل قوی‌تر شده و علاوه بر افزایش میزان آبشستگی، محدوده‌ی وسیع‌تری از این ناحیه را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهند. به همین علت است که برای آبشکن با طول حداکثر (۱۵ سانتی‌متری)، حفره‌ی آبشستگی تقریباً همه عرض کانال را در بر گرفته است در حالی‌که آبشکن با طول حداقل (۱۰ سانتی‌متری)، حفره‌ی تنها به عرض ۳ برابر طول آبشکن ایجاد نموده است.

با افزایش طول آبشکن، پشته‌ی رسوبی گسترده‌تر شده و مقادیر رسوب‌گذاری صورت گرفته، افزایش یافته است. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود که پشته‌ی رسوبی از اواسط کانال به نزدیک دیواره انتقال پیدا کرده است (با افزایش طول آبشکن).

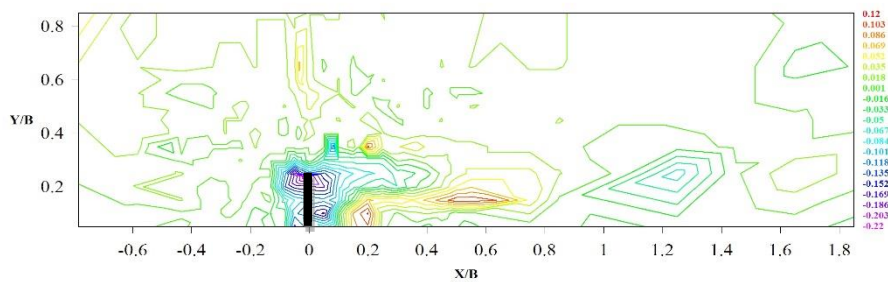
هم‌چنین برای طول حداکثر آبشکن (آبشکن ۱۵ سانتی-متری)، پشته‌ی رسوبی ناحیه‌ی وسیعی از مساحت کانال را در بر گرفته است. در آبشکن‌های کوتاه‌تر، گردابه‌ها توان کمتری برای برداشت رسوب دارند و هم‌چنین جریان اصلی کانال افزایش سرعت زیادی ندارد. به همین علت نمی‌تواند رسوبات حمل شده را به نواحی دوردست انتقال دهد؛ به عبارت دیگر، جریان در فاصله‌ی نزدیک به آبشکن با کاهش سرعت مواجه شده و مصالح در این ناحیه دپو می‌شوند در حالی‌که برای آبشکن‌های طولانی‌تر ابعاد حفره آبشستگی بسیار بزرگ‌تر بوده که نشان از قوی‌تر بودن جریان کانال است. بزرگ‌تر بودن حفره آبشستگی، مرتفع‌تر شدن پشته‌ی رسوبی را به همراه دارد. به-علاوه اینکه جریان‌های منحرف‌شده عرضی پس از عبور از مقطع تنگ‌شده با قدرت و انحراف بیشتری به حالت اولیه باز می-گردند؛ از این رو بعد از آبشکن، انحنای شدیدتری به سمت دیواره مجاور دارند و مصالح برداشت‌شده را به سمت دیواره مجاور منحرف می‌کنند. انتقال پشته‌ی رسوبی به سمت دیواره مجاور را، با افزایش طول آبشکن، می‌توان به این امر نسبت داد.

به‌طور کلی آبشکن با طول کمتر، محدوده‌ی کوچک‌تری

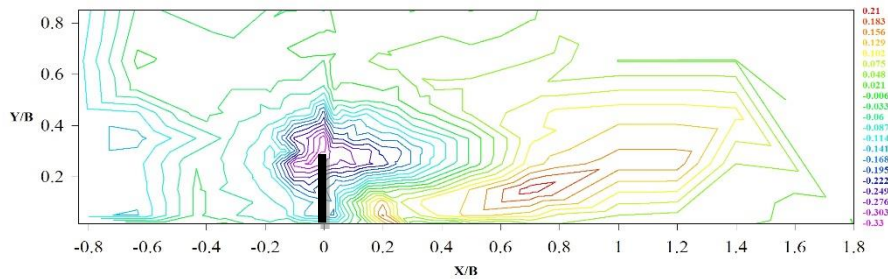
شکل ۹. پروفیل عرضی بستر برای آبشکن‌های با درصد تخلخل ۵۰



توپوگرافی بستر - آبشکن ۱۰ سانتی‌متری



توپوگرافی بستر - آبشکن ۱۲ سانتی‌متری



توپوگرافی بستر - آبشکن ۱۵ سانتی‌متری

شکل ۱۰. توپوگرافی بستر برای آبشکن قائم به طول الف) ۱۰ سانتی‌متر ب) ۱۲ سانتی‌متر ج) ۱۵ سانتی‌متر

نزدیکی دماغه، محدوده‌ای با سرعت طولی منفی رؤیت می‌شود. در این ناحیه جریان پس از چرخش مختصری مجدداً به جریان اصلی کانال می‌پیوندد. در تراز نزدیک به سطح آب، خطوط جریان با اندکی انحراف به مسیر خود ادامه می‌دهند. سرعت جریان در ترازهای نزدیک به کف و نزدیک به سطح دارای مقادیر کمتری بوده و به همین جهت، جریان در حضور آبشکن در این ترازها با انحراف جزئی به مسیر خود ادامه داده است. در تراز میانی به دلیل افزایش سرعت و برخورد جریان با گردابه‌های عمودی و جریان انحرافی در ناحیه بعد از آبشکن و در نزدیکی دماغه، یک محدوده‌ی سرعت منفی ایجاد شده و جریان برگشتی اتفاق می‌افتد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر سرعت منفی در این ناحیه کم است، اما همین مقادیر کم سرعت به دلیل اغتشاشی که در این ناحیه ایجاد می‌کنند، موجب بروز آبشستگی شده و عمق حفره‌ی آبشستگی در این

بررسی اثر طول آبشکن بر الگوی جریان

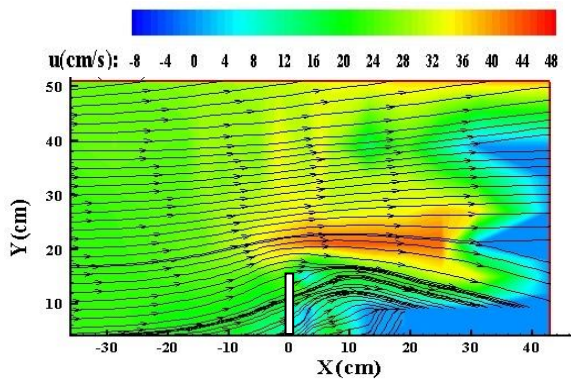
در این بخش اثر تغییر طول آبشکن بر الگوی جریان مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت بررسی این پارامتر آزمایش‌هایی با آبشکن‌های با تخلخل ۵۰ درصد به طول‌های ۱۰، ۱۲ و ۱۵ سانتی‌متر که به ترتیب $\frac{1}{6}$ ، $\frac{1}{5}$ و $\frac{1}{4}$ عرض کانال است، انجام پذیرفت. جهت اختصار، نتایج برای آبشکن با کمترین و بیشترین طول ارائه شده است.

شکل‌های (۹ و ۱۰) پلان جریان اطراف آبشکن در سه تراز ۰/۵، ۱۰ و ۱۴ سانتی‌متری از بستر را برای آبشکن‌هایی با طول‌های ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری نشان می‌دهد. به‌طور کلی مشاهده می‌شود که خطوط جریان در حضور آبشکن ۱۰ سانتی-متری اندکی منحرف شده و بعد از آبشکن این انحراف بیشتر می‌شود. با افزایش فاصله از بستر، در تراز میانی کانال که سرعت بیشترین مقادیر خود را داراست، در ناحیه‌ای بعد از آبشکن و در

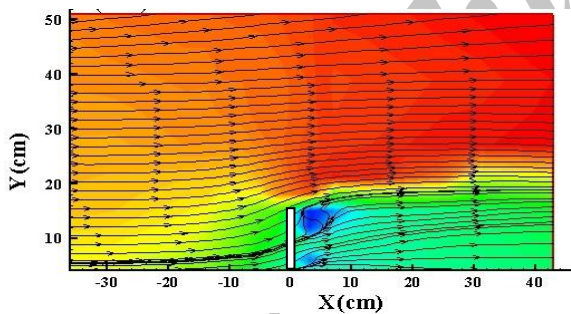
ناحیه قابل توجه است.

همان طور که خطوط هم‌تراز مؤلفه‌ی طولی سرعت نشان می‌دهند، برای آبشکن با طول ۱۵ سانتی‌متر نیز مشاهده می‌شود که روند تغییرات سرعت در ترازهای مختلف همانند آبشکن ۱۰ سانتی‌متری است. اما تفاوت عمده این دو در مقدار سرعت طولی و میزان انحراف جریان است. در آبشکن ۱۵ سانتی‌متری، انحراف جریان بعد از آبشکن و نزدیک به دماغه زیاد بوده به طوری که در تراز میانی کانال در دماغه، بلافاصله بعد از مقطع آبشکن، یک ناحیه‌ی آبی‌رنگ مشاهده می‌شود که مقادیر منفی سرعت طولی را نشان می‌دهد؛ بدین معنا که در این ناحیه با اندکی جریان برگشتی مواجه هستیم. در ناحیه تنگ‌شدگی مقطع در حضور آبشکن با طول بیشتر، مقدار سرعت

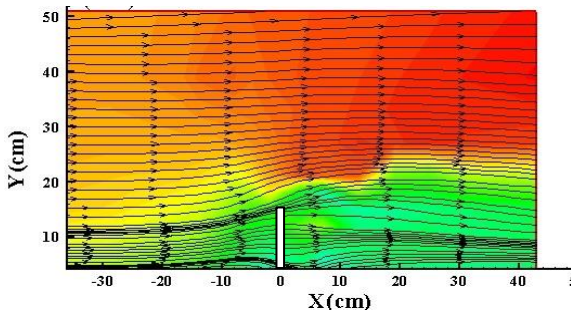
طولی در همه‌ی لایه‌های عمقی بیشتر است و این اختلاف میزان سرعت در لایه مربوط به کف مشهودتر می‌باشد. در حضور آبشکن بزرگ‌تر مقطع دچار تنگ‌شدگی بیشتر شده و بالطبع سرعت نیز افزایش می‌یابد. افزایش سرعت طولی با افزایش قدرت حمل رسوب جریان همراه بوده و منجر به حرکت حجم بیشتری از رسوبات بستر و در نتیجه بزرگ‌تر شدن حفره آبشستگی و پشته‌ی رسوبی می‌شود. در حضور آبشکن کوتاه‌تر، خطوط جریان بعد از آبشکن در ناحیه‌ای نزدیک به آبشکن به مسیر خود باز می‌گردند در حالی که برای آبشکن با طول بیشتر، ناحیه جدایی جریان هم در طول و هم در عرض کانال محدوده گسترده‌تری را به خود اختصاص داده است.



لایه عمقی ۰/۵ سانتی‌متری از بستر - آبشکن ۱۵ سانتی‌متری

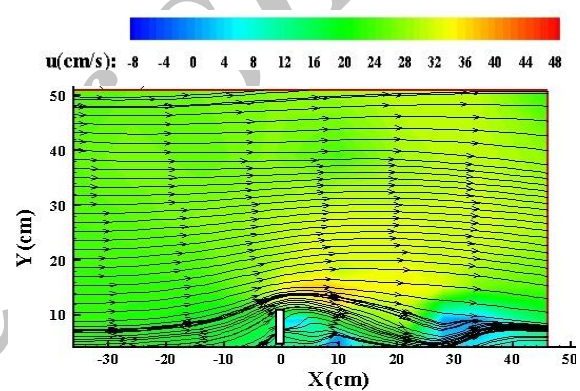


لایه عمقی ۱۰ سانتی‌متری از بستر - آبشکن ۱۵ سانتی‌متری

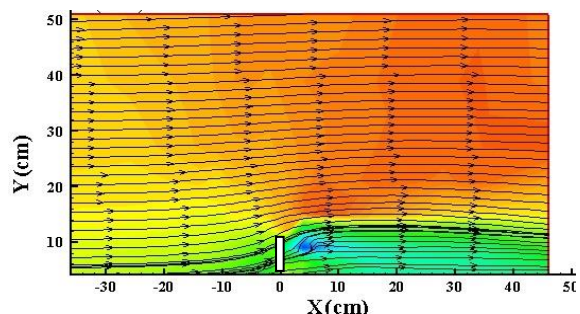


لایه عمقی ۱۴/۱ سانتی‌متری از بستر - آبشکن ۱۵ سانتی‌متری

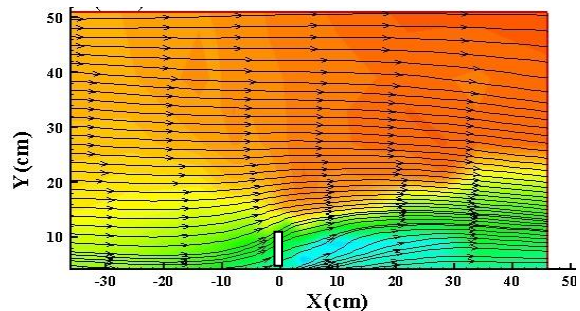
شکل ۱۲. خطوط هم‌تراز مؤلفه طولی سرعت برای آبشکن ۱۵ سانتی‌متری در ترازهای: الف) ۰/۵ (ب) ۱۰ (ج) ۱۴/۱ سانتی‌متری



لایه عمقی ۰/۵ سانتی‌متری از بستر - آبشکن ۱۰ سانتی‌متری



لایه عمقی ۱۰ سانتی‌متری از بستر - آبشکن ۱۰ سانتی‌متری



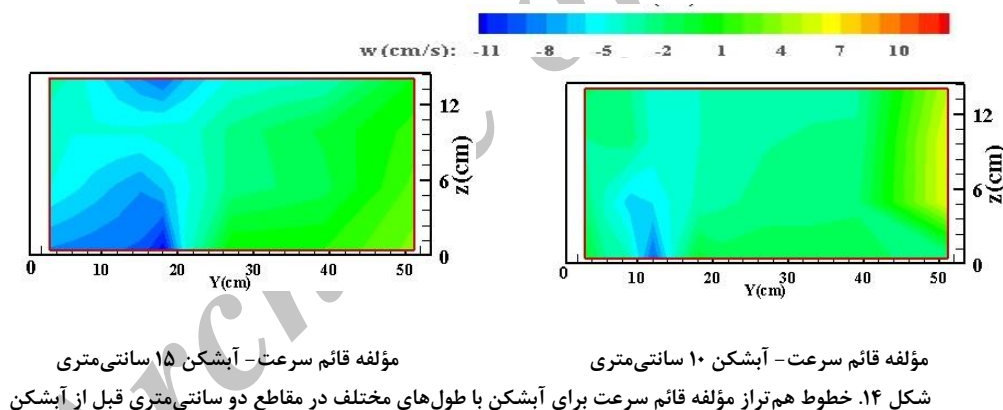
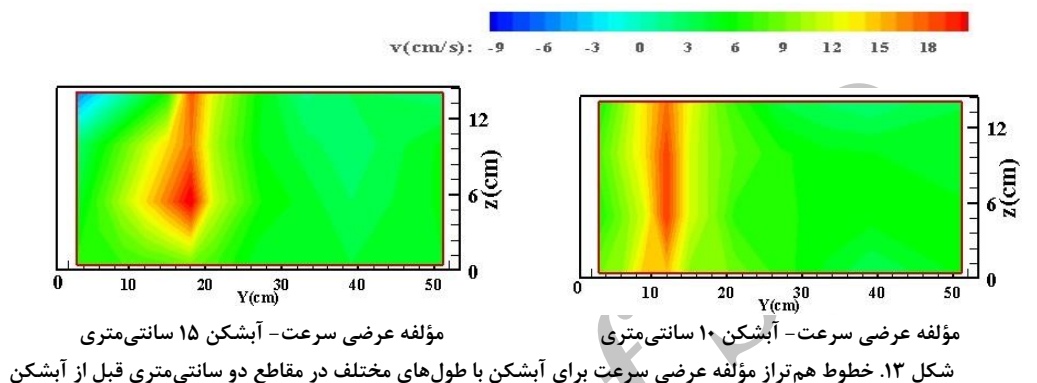
لایه عمقی ۱۴/۱ سانتی‌متری از بستر - آبشکن ۱۰ سانتی‌متری

شکل ۱۱. خطوط هم‌تراز مؤلفه طولی سرعت برای آبشکن ۱۰ سانتی‌متری در ترازهای: الف) ۰/۵ (ب) ۱۰ (ج) ۱۴/۱ سانتی‌متری

مقادیر سرعت در تمام لایه‌ها، بعد از آبشکن در محدوده‌ی نزدیک به دماغه بوده که به سمت میانه‌ی کانال گسترده شده است. این موضوع به دلیل کاهش عرض کانال در امتداد آبشکن بوده که باعث افزایش سرعت جریان در این ناحیه می‌شود. با افزایش طول آبشکن، این کاهش عرض بیشتر شده و به تبع آن سرعت جریان افزایش می‌یابد.

قبل از آبشکن، ناحیه جدایی جریان برای آبشکن کوتاه‌تر در طولی حدود یک برابر طول آبشکن ایجاد شده در حالی که برای آبشکن با طول بیشتر، این ناحیه از طولی حدود دو برابر طول آبشکن آغاز شده است.

با افزایش طول آبشکن، محدوده‌ی تأثیر این سازه در بالادست آن بیشتر شده به طوری که تغییرات سرعت از میانه‌ی کانال عبور کرده و به دیواره‌ی مقابل، نزدیک می‌شود. بیشترین



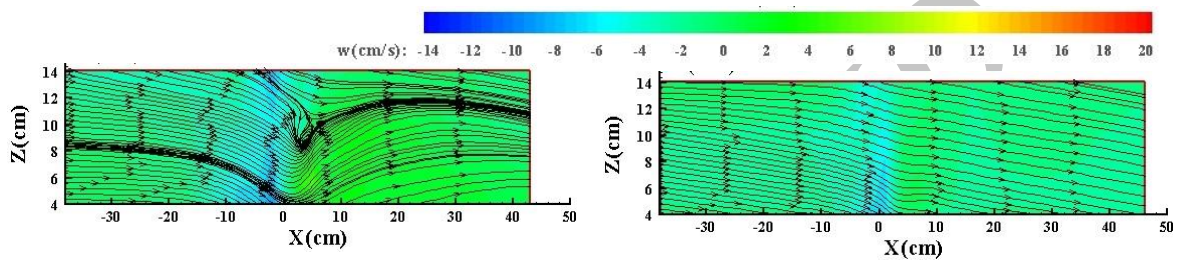
می‌باشد. جریان پایین‌رونده مذکور و جریان عرضی موجب بلند شدن مصالح و قرار گرفتن این مصالح در مسیر جریان اصلی و پرسرعت کانال شده و موجب حرکت مصالح و انتقال آن به نواحی پایین‌دست می‌شود. در مقطع بعد از آبشکن، مقادیر سرعت جریان قائم کم شده و به ترازهای بالاتر منتقل می‌شود و از شدت فرسایش در این ناحیه کاسته می‌شود. در آبشکن با طول بیشتر، جریان عرضی موجود در مقطع حداکثر عمق آبشستگی در لایه‌های میانی دارای مقادیر بیشتر بوده که در نزدیک بستر این مقادیر کم می‌شود. اما چنانچه مؤلفه‌ی قائم سرعت را بررسی کنیم، مشاهده می‌شود که مقدار و محدوده‌ی جریان پایین‌رونده بیشتر و بزرگ‌تر بوده و همراه شدن این دو جریان می‌تواند باعث بروز حفره‌ی بزرگ‌تر و عمیق‌تری در این ناحیه شود. مؤلفه‌ی قائم سرعت در این مقطع در عرض

تصاویر بالا خطوط هم‌تراز سرعت عرضی و قائم جریان در مقطع عرضی ۲ سانتی‌متری قبل از آبشکن را نشان داده است. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، مقادیر سرعت عرضی در محدوده‌ی دماغه‌ی آبشکن بیشتر از سایر نواحی بوده است و تا مقداری حدود ۲۰ سانتی‌متر بر تانیه افزایش داشته است. این نشان‌دهنده وجود جریان انحرافی به سمت میانه‌ی کانال می‌باشد. دلیل وجود چنین جریانی را می‌توان به حضور آبشکن و منحرف کردن جریان در محل مذکور نسبت داد.

در شکل (۱۴) مؤلفه‌ی قائم سرعت در مقطع ۲ سانتی‌متری قبل از آبشکن نشان داده شده است. در مقطع مذکور وجود یک جریان پایین‌رونده مشاهده می‌شود که متمرکز در دماغه آبشکن و در نزدیکی بستر می‌باشد. از مهم‌ترین دلایل وقوع حداکثر عمق آبشستگی در این ناحیه، وجود این جریان

خطوط جریان بعد از آبشکن، با افزایش طول آبشکن، انحنای شدیدتری به خود گرفته و جریان بالارونده قوی‌تری بعد از آبشکن تشکیل شده است. در حالی که برای آبشکن کوتاه‌تر تغییرات قابل توجهی رخ نداده و جریان با انحنای جزئی از مقطع عبور کرده است. گردابه‌های جزئی در آبشکن طویل‌تر در جلوی آبشکن مشاهده می‌شود. این گردابه در لایه‌های میانی جریان به سمت سطح جریان توسعه پیدا کرده و با تلاطم و اغتشاشی که در جریان ایجاد می‌کند، منجر به ایجاد تغییرات سرعت و در نتیجه، تغییر در حفره آبستنگی می‌شود.

گسترده‌ای موجب بلند شدن مصالح و تلاطم و آشفستگی بیشتری در این ناحیه شده و جریان عرضی پرسرعت در ترازهای بالاتر موجب انحراف قابل توجه مصالح و قرار گرفتن آن در مسیر جریان اصلی کانال شده و آبستنگی ایجاد می‌شود. با توجه به محدوده‌ی گسترده‌تر سرعت‌های قائم و عرضی در آبشکن با طول بیشتر، ناحیه‌ی تأثیر آن بیشتر بوده و حفره‌ی بزرگ‌تری ایجاد می‌کند. در شکل (۱۵) مقاطع طولی خطوط جریان در دماغه برای دو آبشکن با طول‌های ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر نشان داده شده است.



آبشکن ۱۵ سانتی‌متری

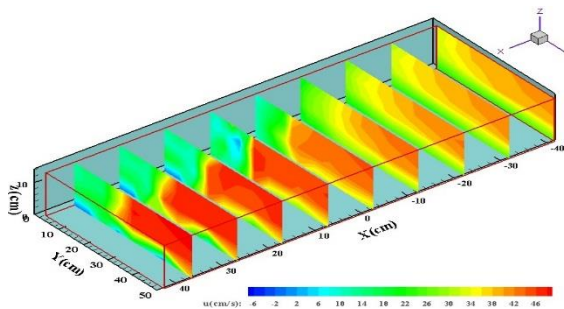
آبشکن ۱۰ سانتی‌متری

شکل ۱۵. خطوط هم‌تراز مؤلفه قائم سرعت در محل ماکزیمم آبستنگی برای آبشکن الف) ۱۰ سانتی‌متری ب) ۱۵ سانتی‌متری

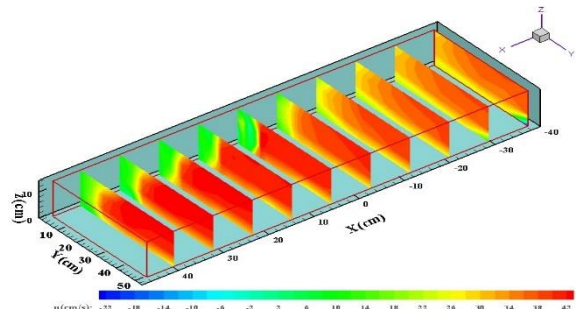
سرعت جلوی آبشکن و جریان اصلی کانال می‌باشد که تشکیل گردابه داده است.

شکل‌های (۱۶ تا ۱۸) خطوط هم‌تراز مؤلفه طولی، عرضی و قائم سرعت در مقاطع عرضی در طول کانال برای آبشکن ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. مؤلفه‌ی طولی سرعت جریان برای آبشکن با طول کمتر در محدوده‌ی کوچک‌تری قبل و بعد از آبشکن کاهش پیدا کرده است و تغییرات، بیشتر متمرکز در محدوده‌ی آبشکن است. عرض تأثیرگذاری سازه در آبشکن با طول کمتر، به شکل قابل‌ملاحظه‌ای کمتر می‌باشد.

به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که با افزایش طول آبشکن، جریان‌های پایین‌رونده و بالارونده به ترتیب قبل و بعد از آبشکن شدیدتر شده و موجب انحراف بیشتر خطوط جریان به سمت ترازهای بالاتر می‌شوند. در حالی که در آبشکن با طول کمتر، تقریباً تغییرات عمده‌ای در خطوط جریان رخ نداده و مقادیر جریان‌های قائم پایین‌رونده به حدی جزئی می‌باشد که توان غلبه بر جریان پرسرعت طولی را نداشته و انحراف قابل‌توجهی ایجاد نکرده است. در آبشکن با طول بیشتر، شاهد وقوع یک گردابه‌ی قائم کوچک در نزدیکی مقطع صفر طولی و در ترازهای میانی هستیم. این مکان محل ترکیب جریان‌های کم-



آبشکن ۱۵ سانتی‌متری



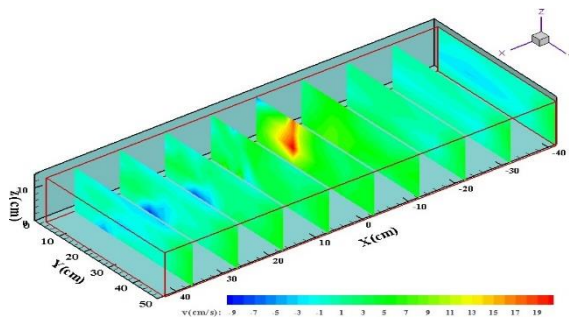
آبشکن ۱۰ سانتی‌متری

شکل ۱۶. خطوط هم‌تراز مؤلفه طولی سرعت در مقاطع مختلف عرضی در طول جریان برای آبشکن‌های ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری

جریان در شکل کاملاً مشهود است. مقادیر سرعت طولی قبل از

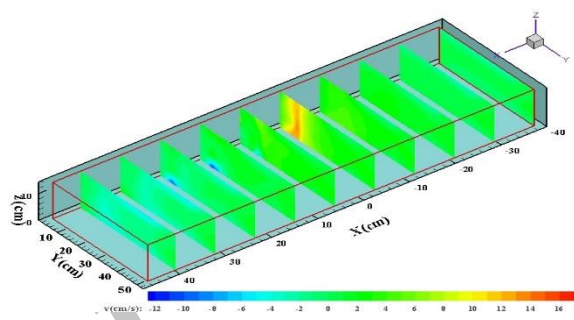
با افزایش طول آبشکن، تغییرات زیاد مؤلفه‌ی طولی

موجب تلاطم و آشفتگی جریان در این نواحی خواهد بود. مؤلفه‌ی عرضی سرعت که در شکل (۱۷) نشان داده شده است، برای آبشکن با طول کمتر در محدوده‌ی پشت آبشکن دارای برد تأثیرگذاری کمتری است. ناحیه قبل آبشکن دارای جریان انحرافی به سمت میانه‌ی کانال و بعد از آبشکن، دارای مقادیر جزئی منفی (به سمت دیواره‌ی مجاور) بوده است؛ بدین معنا که جریان بعد از آبشکن به صورت جزئی به سمت دیواره مجاور منحرف شده است



آبشکن ۱۵ سانتی متری

آبشکن کاهش محسوس داشته و همه‌ی عرض کانال را در بر گرفته است. بعد از آبشکن نیز عرض زیادی از کانال با کاهش سرعت قابل ملاحظه‌ای مواجه بوده و این موضوع نشان از ایجاد تغییرات عمده در الگوی جریان و به تبع آن توپوگرافی بستر برای آبشکن‌های طولی‌تر دارد. هم‌چنین در پایین دست آبشکن تا طول زیادی بعد از آن، وجود یک جریان منفی طولی (هر چند با شدت کم) قابل مشاهده است که نشان‌دهنده‌ی برگشت جریان در این نواحی است. البته این جریان به دلیل شدت بسیار کم احتمالاً نمی‌تواند بر توپوگرافی بستر تأثیر چندانی داشته باشد اما



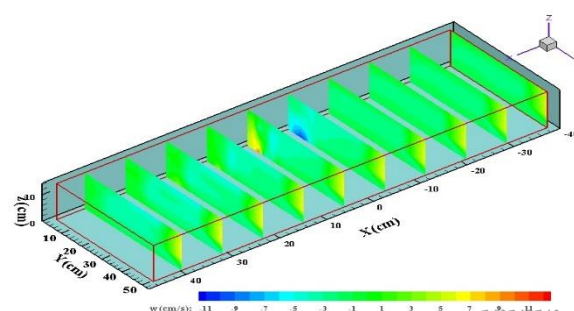
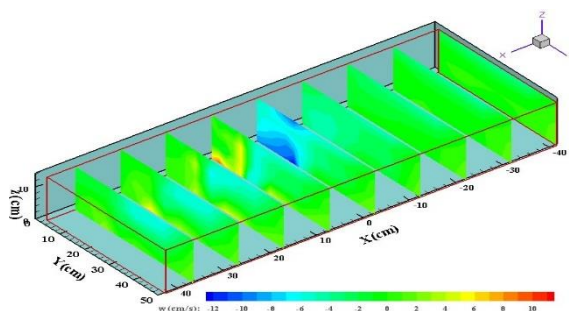
آبشکن ۱۰ سانتی متری

شکل ۱۷. خطوط هم‌تراز مؤلفه عرضی سرعت در مقاطع مختلف عرضی در طول جریان برای آبشکن ۱۰ و ۱۵ سانتی متری

قائم منفی و مثبت در مقاطع نشان‌دهنده‌ی تشکیل گردابه‌های قائم مقاطع عمودی است. این گردابه‌ها بعد از آبشکن و در ناحیه‌ای است که آشفتگی زیادی در محدوده‌ی مذکور به دلیل ترکیب شدن جریان‌های کم‌سرعت جلوی آبشکن و جریان پرسرعت اصلی وجود دارد. در عرض کانال، جریان بالارونده بعد از سازه در آبشکن کوتاه‌تر کم بوده و تا حدود ۱L گسترش یافته است؛ در حالی که با افزایش طول آبشکن شدت و وسعت جریان مذکور بیشتر شده و تا حدود ۲L ادامه دارد. با توجه به این که در آبشکن طولی‌تر، جریان پایین‌رونده قبل آن بیشتر و گسترده‌تر است، جریان جهت رسیدن به تعادل اولیه نیازمند تغییرات تدریجی و دور شدن از ناحیه پرتلاطم نزدیک آبشکن بوده و از این رو محدوده‌ی جریان بالارونده گسترده‌تر شده و طول بیشتری را شامل شده است.

با افزایش طول آبشکن، مکانیزم عملکرد تغییر نمی‌کند اما شدت تغییرات به طور کلی بیشتر و در محدوده‌ی وسیع‌تری از کانال رخ می‌دهد. ناحیه‌ی بعد از آبشکن تا طولی حدود سه برابر آبشکن دارای جریان انحرافی به سمت دیواره‌ی کانال بوده که محل تمرکز این محدوده با دور شدن از آبشکن به سمت دیواره مجاور منتقل می‌شود.

در خطوط هم‌تراز مربوط به مؤلفه‌ی قائم سرعت که در شکل (۱۶) نشان داده شده است، برای هر دو آبشکن، مقادیر سرعت قائم قبل از آبشکن بسیار کم و نزدیک صفر است. با نزدیک شدن به آبشکن به تدریج جریان پایین‌رونده ایجاد شده و با عبور از آبشکن جریان بالارونده‌ای در نزدیکی بستر به وجود می‌آید. هم‌زمان با این جریان بالارونده، یک جریان بسیار جزئی با جهت مخالف در ترازهای بالاتر به وجود می‌آید که مقادیر آن کم بوده و با دور شدن از آبشکن از بین می‌رود. وجود سرعت



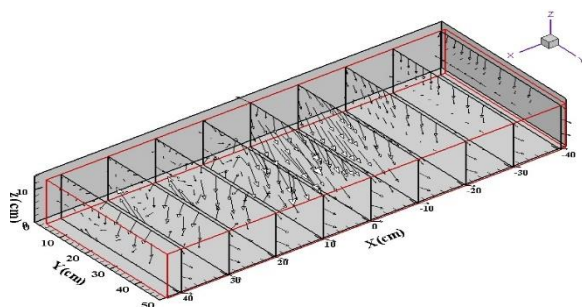
آبشکن ۱۰ سانتی متری

آبشکن ۱۵ سانتی متری

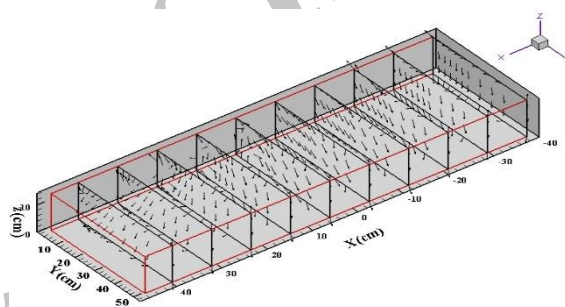
شکل ۱۸. خطوط هم تراز مؤلفه قائم سرعت در مقاطع مختلف عرضی در طول جریان برای آبشکن ۱۰ و ۱۵ سانتی متری

شکل (۱۹) بردارهای جریان ثانویه در مقاطع مختلف عرضی برای دو آبشکن مورد بررسی را نشان می‌دهد. برای آبشکن کوتاه‌تر در محدوده‌ی ۲L قبل و بعد از آبشکن تغییراتی در جهت و مقدار جریان‌های ثانویه رخ داده است. جریان با نزدیک شدن به آبشکن به سمت دماغه‌ی آبشکن منحرف شده و در نواحی بعدی دچار تلاطم و آشفتگی شده است. در آبشکن با طول بیشتر، بالادست جریان در حدود همان ۲L تحت تأثیر حضور آبشکن قرار گرفته است، اما پایین دست جریان محدوده‌ی تأثیرگذاری بسیار بزرگ‌تر شده و هم‌چنین مقادیر سرعت جریان ثانویه به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. در حضور این

آبشکن محدوده‌ای بیشتر از ۳L در پایین دست جریان دچار آشفتگی و تلاطم شده و در جلوی آبشکن با گردابه‌های جزئی و متعددی روبه‌رو هستیم. به‌طور کلی تشکیل حفره‌ی آبشستگی در اطراف آبشکن به شکل قابل ملاحظه‌ای به میزان جریان‌های ثانویه‌ی تشکیل شده در این ناحیه، بستگی دارد. این جریان عامل اصلی بلندشدن مصالح بستر و ایجاد آشفتگی در این ناحیه می‌باشد. همان‌طور که در شکل‌های زیر مشاهده می‌شود، مقادیر سرعت جریان ثانویه در آبشکن با طول بیشتر، بسیار بزرگ‌تر بوده و دلیل تشکیل حفره‌ی آبشستگی بزرگ‌تر در اطراف آبشکن، همین امر می‌باشد.



آبشکن ۱۵ سانتی متری



آبشکن ۱۰ سانتی متری

شکل ۱۹. بردارهای جریان ثانویه در مقاطع عرضی مختلف در طول جریان برای آبشکن ۱۰ و ۱۵ سانتی متری

نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که در حضور آبشکن طولی‌تر، اندازه جریان‌های ثانویه تشکیل شده به میزان قابل توجهی بزرگ‌تر می‌باشد. این امر منجر به آشفتگی و بلند شدن بیشتر مصالح بستر و بالا رفتن توان حمل رسوب بیشتر جریان می‌شود که نهایتاً حفره آبشستگی بزرگ‌تری را ناشی می‌شود.

نتیجه‌گیری

توپوگرافی بستر و الگوی جریان حول آبشکن‌ها از مهم‌ترین عوامل مؤثر در طراحی سازه آبشکن است. در پژوهش حاضر، اثر طول آبشکن‌های باز توری‌سنگی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش طول آبشکن منجر به افزایش سرعت طولی جریان در دماغه و توسعه جریان‌های ثانویه در محدوده‌ی بزرگتری در اطراف سازه آبشکن می‌شود و این امر منجر به افزایش ابعاد حفره آبشستگی در همه جهات می‌شود. متعاقب با افزایش حفره آبشستگی، پشته‌رسوبی ایجاد شده در حضور آبشکن طولی‌تر بزرگ‌تر بوده و به سمت میانه کانال منتقل می‌شود. هم‌چنین اندازه جریان‌های ثانویه تشکیل شده

توپوگرافی بستر به میزان زیادی تحت تأثیر تغییرات طول آبشکن قرار می‌گیرد و این موضوع به دلیل الگوی جریان متغیر در این ناحیه است. در حضور آبشکن، مجموعه جریان‌های عرضی و قائم حول سازه و هم‌زمان افزایش قابل توجه سرعت طولی در دماغه آبشکن، موجب تشکیل حفره‌ی آبشستگی حول آن می‌شود. با افزایش طول آبشکن، همراه شدن بیشتر جریان‌های قائم و عرضی با هم و ترکیب شدن جریان‌های کم‌سرعت جلوی آبشکن با جریان طولی پرسرعت دماغه، تشکیل گردابه‌های ریز و درشتی حول سازه می‌دهد که تغییرات توپوگرافی بستر را به شکل قابل ملاحظه‌ای تشدید می‌کند. هر چه طول آبشکن بیشتر شود، تنگ‌شدگی موضعی جریان در راستای آبشکن بیشتر شده، هم‌چنین موجب توسعه‌ی جریان ثانویه در امتداد آبشکن در بالادست و پایین دست شده و از طرفی موجب افزایش هر چه بیشتر سرعت جریان در دماغه‌ی آبشکن می‌شود. این امر دلیل افزایش عمق حفره آبشستگی در این ناحیه و هم‌چنین گسترش ابعاد حفره می‌باشد. با توجه به این‌که طول بردارهای نشان داده شده در شکل اندازه جریان‌های ثانویه را

در این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشد صورت گرفته در این دانشگاه با عنوان " بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبستگي به‌دلیل حضور مانع توری‌سنگی در مسیر جریان در کانال مستقیم با بستر متحرک " می‌باشد، تقدیر و تشکر می‌گردد.

حول آبشکن با طول بیشتر به مراتب بزرگتر بوده و منجر به اغتشاش بیشتری در اطراف آبشکن مذکور می‌شود.

سپاسگزاری

در پایان از دانشگاه بوعلی سینا همدان که نتایج به کار برده شده

REFERENCES

- Abbasi, A., Askari, A. Bani hashem, M. (1997). Laboratory survey of scour depth at the nose of a groyne., *First Iranian Hydraulic Conference* . (In Farsi)
- Chen, F. Y. and Ikeda, S. (1997). Horizontal Separation in Shallow Open Channels with Spur Dikes. *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, JSCE*. 15, 15-30.
- Duan, J., (2009). Mean flow and turbulence around a laboratory spur dike. *Journal of Hydraulic Engineering*. 135(10), 803-811.
- Ezzeldin, M. M., Saafan, T. A., Rageh O. S., and Nejm, L. M. 2007. Local scour around Spur dikes. *Eleventh International Water Technology Conference*. 779-795.
- Elawady. E., Masanori. M., Hinokidani. O. 2001. Movable bed scour around submerged spur-dikes. *Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*. vol.45.
- Jarrahzade, F., Kashefipour, S.M. Shafai Bajestan, M. (2017). The Effects of Permeable, Impermeable and Bandal-like Spur-dike Angel On Geometric Dimensions of Scouring In Submerged Conditions. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*. 40(2), 1-14. (In Farsi)
- kermannejad, J., Dehghani, A. Fathi moghadam, M. Mahmodian, M. (2011). Investigation of Effect Porosity on Scour Depth Around L-head Groins with Clapper toward Downstream and Upstream under Clear Water Condition. *Journal of Water and Soil*. 25(2), 305-314. (In Farsi)
- Kuhnle R. A., Alonso C.V., and Shields. F. D., Jr., 2002. Local scour Associated with Angled spur dikes.. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 128(12), 1087-1093.
- Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., and Shields, F. D. (1999). Geometry of Scour Holes Associated With 90-degree Spur Dikes. *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 125: 972-978.
- McCoy A., Constantinescu, S.G. and Weber, L. (2006). Exchange processes in a channel with two vertical emerged obstructions. *Journal of Flow Turbulence Combustion*. pp: 97-126.
- Mioduszewski, T., Maeno, S. and Uema, Y. (2003). Influence of the spur dike permeability on flow and scouring during a surge pass: Proceedings of *International Conference on Estuaries and Coasts*, Hangzhou, China, pp308 388.
- Peng, J., Kawauara, Y., and Tamai, N. (1997). Numerical Analysis of Three-Dimensional Turbulent Flows around Submerged spur dikes. *27th IAHR Congress*, San Francisco, USA. 147-156.
- Rajaratnam, N., and Nwachukwu, B. A. (1983). Flow near groin-like structures. *Journal of Hydraulic Engineering* . 109(3), 463 - 480.
- Shahabi, Z., Kashefipour, S.M. (2017). Experimental Investigation of The Effect of The Permeable Spur Dikes on Scour Hole Dimensions in a Mild 90 Degree Bend. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*. 39(4), 13-21. (In Farsi)
- Tominaga, A., Ijima, K. and Nakano, Y. (2001). Flow structures around submerged spur dikes with various relative height: Proceedings of *29th IAHR Congress*, Beijing, China.
- Uijtewaal, W.S.J. (2005). Effects of groins layout on the flow in groins fields: laboratory experiments. *Journal of Hydraulic Engineering, ASEC*. 131(9), 782-791. *Evolution and equilibrium state characteristics. Alexandria engineering Journal*. vol 44
- Vaghefi, M. Ghodsian, M. and Salehi neishabori, A. A. (2010). Experimental study of scouring around a series of L-head groynes *Journal of Water and Soil conservation*. Vol. 16. Nom 3: 141-162. (In Farsi)
- Yang, Ch.T. (1940). *Sediment Transport: Theory and Practice*. (S. Kouchakzadeh & K. Yousefi, Trans). University of Tehran Press 2537: (2nd ed.). Tehran