

بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه قرارگیری آبشکن‌های نفوذپذیر بر ابعاد چاله آب‌شستگی در شرایط غیرمستغرق در قوس ملایم ۹۰ درجه

گلنار دبیری^{۱*} و سید محمود کاشفی‌پور^۲

چکیده

اندرکنش دو نیرو گریز از مرکز و گرادیان فشار در قوس رودخانه‌ها و در نتیجه آن تشکیل جریان‌های چرخشی و حلزونی، سبب ایجاد فرسایش در قوس خارجی و رسوب‌گذاری در قوس داخلی می‌شود. این امر سبب تغییر تدریجی در فرم رودخانه می‌شود. آبشکن‌ها از جمله سازه‌هایی هستند که از طریق اصلاح الگوی جریان و کاهش قدرت جریان ثانویه سبب کنترل و کاهش فرسایش در خم رودخانه‌ها می‌شوند. اما به دلیل ایجاد تنگ‌شدگی در مقطع جریان و تشکیل گردابه‌های قوی خود دچار آب‌شستگی می‌شوند. میزان آب‌شستگی اطراف آبشکن‌ها به عوامل مختلفی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به زاویه قرارگیری نسبت به راستای جریان اشاره کرد. در این پژوهش اثر زاویه قرارگیری سری آبشکن نفوذپذیر در سه حالت جاذب (۱۲۰ درجه)، عمودی (۹۰ درجه) و دافع (۶۰ درجه) در قوس ۹۰ درجه ملایم بررسی شده است. بدین‌منظور آزمایش‌هایی با چهار عدد فرود ۰/۲۱، ۰/۲۳، ۰/۲۶ و ۰/۲۸ روی آبشکن‌های با نفوذپذیری ۳۳ درصد و طول مؤثر ۲۰ درصد عرض فلوام انجام شد. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آب‌شستگی در قسمت خروجی قوس ۹۰ درجه رخ داده و بیشینه مقدار آن مربوط به حالت جاذب است، که ۷/۴ درصد بیشتر از حالت قائم و ۱۱/۱ درصد بیشتر از حالت دافع است.

واژه‌های کلیدی: آبشکن نفوذپذیر، آب‌شستگی موضعی، آب‌شستگی آب زلال، زاویه قرارگیری آبشکن، قوس ملایم ۹۰ درجه.

ارجاع: دبیری گ. و کاشفی‌پور س. م. ۱۳۹۸. بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه قرارگیری آبشکن‌های نفوذپذیر بر ابعاد چاله آب‌شستگی در شرایط غیرمستغرق در قوس ملایم ۹۰ درجه. مجله پژوهش آب ایران. ۳۳: ۴۳-۵۰.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گرایش سازه‌های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

* نویسنده مسئول: golnardabiri@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۰۶

مقدمه

وجود جریان‌های چرخشی و حلزونی در قوس رودخانه‌ها تحت تأثیر دو نیروی گریز از مرکز و گرادیان فشار سبب فرسایش ساحل خارجی قوس و رسوب‌گذاری در قوس داخلی رودخانه می‌شود، که به تدریج سبب تغییر در فرم رودخانه شده و مشکلات زیادی را هم از نظر اجتماعی و هم به لحاظ اقتصادی ایجاد می‌کند. از این‌رو، حفاظت و تثبیت سواحل از مسائل مهم مورد بررسی است که به ویژه در چند دهه اخیر به آن توجه شده است و سبب ایجاد روش‌های مختلف برای تثبیت رودخانه در محل قوس‌ها شده است. در این میان، آبشکن‌ها جزء روش‌های غیرمستقیم حفاظت از سواحل هستند. آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که به صورت عرضی و با زاویه مناسبی نسبت به ساحل رودخانه ساخته می‌شوند و با انحراف خطوط جریان از ساحل فرسایش‌پذیر رودخانه به سمت قسمت‌های مرکزی جریان و نیز کاهش سرعت جریان، از شدت برخورد جریان با سواحل کاسته و توانایی رسوب‌گذاری را افزایش می‌دهند. از جمله اهداف ساخت آبشکن‌ها می‌توان به کنترل فرسایش و حفاظت سواحل و دیواره‌های خارجی قوس‌ها، اصلاح مسیر و کاهش عرض رودخانه، احیای سامانه زیست‌آبی رودخانه و تنظیم

هندسه هیدرولیکی آبراه‌ها برای قایق‌رانی اشاره کرد. آبشکن‌ها را براساس میزان آب‌گذری آن‌ها به دو دسته کلی نفوذپذیر و نفوذناپذیر تقسیم‌بندی می‌کنند. آبشکن‌های نفوذناپذیر سازه‌هایی هستند که قابلیت آب‌گذری جریان را نداشته و به‌عنوان عاملی غیرقابل نفوذ در مقابل جریان عمل می‌کنند. به این خاطر سبب تمرکز جریان و اغتشاش بیشتر در دماغه آبشکن‌ها می‌شوند و آبشستگی را افزایش می‌دهند. در مقابل آبشکن‌های نفوذپذیر به دلیل اینکه بخشی از جریان را از خود عبور می‌دهند، سبب کاهش قدرت جریان پایین‌رونده شده و آشفستگی را در دماغه آبشکن کاهش می‌دهند. یکی از موارد بسیار مهم در طراحی آبشکن‌ها، تعیین زاویه قرارگیری نسبت به ساحل رودخانه یا راستای جریان است. بر این اساس آبشکن‌ها به سه دسته جاذب، عمودی و دافع تقسیم بندی می‌شوند. آبشکن‌های جاذب از نظر سازه‌ای به سمت پایین‌دست ساحل رودخانه تمایل دارند، آبشکن‌های قائم عمود بر راستای جریان بوده و آبشکن‌های دافع به سمت بالادست جریان متمایل هستند. شکل ۱ نحوه قرارگیری آبشکن‌ها را در سه حالت دافع، عمودی و جاذب نشان می‌دهد.



شکل ۱- نحوه قرارگیری آبشکن‌ها سه حالت دافع، عمودی و جاذب

(۲۰۰۸)، آبشستگی اطراف آبشکن بسته و آبشکن با درصد نفوذپذیری مختلف را در یک فلووم مستقیم بررسی کردند. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن نفوذپذیر به میزان قابل توجهی کمتر از آبشکن نفوذناپذیر است. ژنگ و ناکاگوا (۲۰۰۸) با انجام آزمایش‌هایی، آبشستگی اطراف تک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر را بررسی کردند. براساس نتایج به دست آمده، حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن نفوذپذیر به میزان ۵۰٪ از آبشکن نفوذناپذیر کمتر است. یودین و همکاران (۲۰۱۱) با انجام آزمایش‌های اثر زاویه قرارگیری تک آبشکن با دماغه گرد را روی حداکثر عمق آبشستگی

در ادامه به برخی از بررسی‌های انجام شده در زمینه آبشکن‌ها در قوس اشاره شده است. ازلدین و همکاران (۲۰۰۷) در یک بررسی آزمایشگاهی اثر ۳ فاکتور عدد فرود، نسبت تنگ‌شدگی و زاویه حمله جریان را روی ابعاد چاله آبشستگی در مورد تک آبشکن نفوذپذیر بررسی کردند. براساس نتایج به دست آمده به ازای شرایط جریان یکسان و میزان تنگ‌شدگی برابر، زاویه ۳۰ درجه دارای عملکرد مطلوبی برای کاهش عمق آبشستگی در دماغه و کنترل فرسایش ساحل است و در مقایسه با زاویه ۳۰ درجه، عمق آبشستگی برای آبشکن با زاویه ۶۰ درجه به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. نصرالهی و همکاران

عوامل مربوط به هندسه کانال شامل: شیب طولی فوم (S_B)، عرض کانال در مقطع قبل از آبشکن (B_1)، عرض مکانال در مقطع تنگ شده (B_2)، شعاع قوس (R)، زاویه مرکزی قوس (α)، عوامل مربوط به هندسه آبشکن‌ها شامل: ارتفاع سازه‌ها (h)، طول مؤثر سازه‌ها (L_e)، فاصله بین سازه‌ها (a)، زاویه مرکزی قوس (α)، زاویه اتصال سازه‌ها نسبت به دیواره بالادست قوس خارجی (θ)، نفوذپذیری سازه‌ها (Φ) و ضخامت آبشکن‌ها (t)، عوامل مربوط به هیدرولیک جریان شامل: عمق جریان (Y)، سرعت متوسط جریان (V)، شتاب ثقل (g)، حداکثر عمق چاله آبشستگی (ds)، عرض چاله آبشستگی (W)، طول چاله آبشستگی (L)، عوامل مربوط به سیال: لزجت سیال (μ) و جرم مخصوص سیال (ρ)، عوامل مربوط به رسوبات بستر شامل: قطر متوسط مصالح رسوبی بستر (D_{50})، چگالی رسوبات بستر (G_s)، سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر (V_c)،

با توجه به متغیرهای معرفی شده می‌توان نوشت:

$$f\left(\frac{h_s, W, L, \mu, \rho, D_{50}, G_s, V, V_c, L_e, a, t, Y, \theta, R, B_1, B_2, S_B}{g, R, \theta, B_1, B_2, S_B}\right) = 0 \quad (1)$$

با در نظر گرفتن جرم مخصوص سیال، سرعت متوسط جریان و عمق جریان به‌عنوان متغیرهای تکراری و با استفاده از روش Π باکینگهام، پارامترهای بدون بعد به‌صورت معادله (۲) در نظر گرفته می‌شوند:

$$f\left(\frac{h_s, W, L, B_1, B_2, L_e, D_{50}, a, U}{H, H, H, H, H, H, H, H, H, U_c}, Re, Fr, S_B, \Phi, \alpha, \theta, R\right) = 0 \quad (2)$$

در نهایت با حذف پارامترهای ثابت و با انتخاب h_s/Y ، W/Y ، L/Y به‌عنوان متغیرهای وابسته، معادله (۳) به‌دست خواهد آمد.

$$\frac{h_s}{Y}, \frac{W}{Y}, \frac{L}{Y} = f(\theta, Fr) \quad (3)$$

در شکل ۲، شکل شماتیک ابعاد چاله آبشستگی نشان داده شده است.

آبشکن‌ها

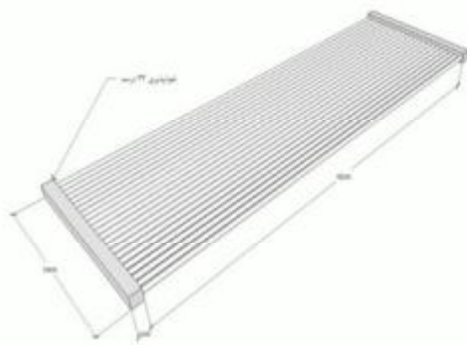
در این پژوهش از آبشکن مستطیلی قائم و با نفوذپذیری ۳۳ درصد استفاده شده است. برای ساخت آبشکن‌ها از دو عدد ورقه پلکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر استفاده شد. در سطح پلکسی‌ها با لیزر سوراخ‌هایی با فاصله‌های یکسان ایجاد شد. این فاصله‌ها برای برقراری نفوذپذیری ۳۳ درصد در مقطع آبشکن از طریق رابطه (۴) محاسبه

اطراف آن در شرایط آب زلال بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که آبشکن با زاویه ۹۰ درجه بیشترین عمق آبشستگی و با آبشکن با زاویه ۱۳۵ درجه کمترین عمق آبشستگی را داشته است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عدد فرود، حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌ها با زوایای مختلف افزایش می‌یابد. واقفی و همکاران (۲۰۱۲) با تغییر دادن طول و طول بال آبشکن، شعاع انحنای قوس، محل قرارگیری آبشکن در قوس و عدد فرود جریان، به بررسی آبشستگی اطراف آبشکن T شکل در یک قوس ۹۰ درجه در شرایط آب زلال پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش شعاع انحنای قوس و با تغییر موقعیت آبشکن به سمت پایین دست قوس حداکثر عمق چاله آبشستگی افزایش می‌یابد. یباره‌پور و کاشفی‌پور (۱۳۹۲) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر نفوذپذیری آبشکن روی ابعاد چاله آبشستگی پرداختند. نتایج نشان داد که با کاهش نفوذپذیری، حداکثر عمق چاله آبشستگی به میزان بیش از ۴ برابر افزایش پیدا می‌کند. عباسی و ملک‌نژاد یزدی (۱۳۹۳) اثر طول، فاصله و شکل آبشکن‌ها T شکل و L شکل نفوذپذیر غیرمستغرق را بر عمق آبشستگی اطراف آن‌ها بررسی کردند. نتایج نشان داد که در آبشکن‌های سر کج نسبت فاصله به طول ۳ و در آبشکن‌های سر سپری نسبت فاصله به طول ۴ مناسب بوده و سری آبشکن‌های سر سپری نسبت به سری آبشکن‌های سر کج حداکثر عمق آبشستگی کمتری دارند. با مروری بر پژوهش‌های قبل می‌توان به این موضوع پی برد که بیشتر بررسی‌های انجام شده در زمینه آبشکن‌های باز در مسیر مستقیم بوده، همچنین اثر زاویه قرارگیری آبشکن‌ها کمتر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. پس در این پژوهش، به بررسی اثر زاویه قرارگیری آبشکن‌های باز روی ابعاد چاله آبشستگی در قوس ۹۰ درجه ملایم پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

پارامترهای مختلفی بر آبشستگی اطراف آبشکن‌ها و عملکرد آن‌ها مؤثر است. برای یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر آبشستگی، آنالیز ابعادی روی پارامترهای مؤثر انجام شد. عوامل مؤثر در این زمینه عبارتند از:



شکل ۳- نمایی از آبشکن با نفوذپذیری ۳۳ درصد



شکل ۴- چگونگی قرارگیری آبشکن‌ها در حالت دافع

امکانات آزمایشگاهی

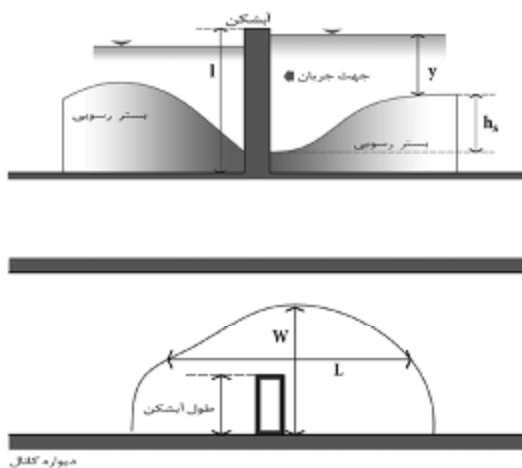
کلیه آزمایش‌ها در فلوم قوسی ۹۰ درجه در دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است. عرض فلوم ۷۰ سانتی‌متر و شعاع داخلی و خارجی قوس به ترتیب ۲/۴۵ متر و ۳/۱۵ متر است. بر این اساس نسبت شعاع قوس به عرض آن (R/B) برابر ۴ است که در این صورت قوس مورد استفاده جز قوس‌های ملایم به حساب می‌آید. طول مسیر مستقیم ورودی فلوم ۵ متر و مسیر مستقیم خروجی ۳ متر است. کف فلوم از جنس آهن گالوانیزه است. جداره‌های بخش ملایم از جنس شیشه و در قسمت قوس از جنس پلکسی‌گلاس به ضخامت ۱۰ میلی‌متر است. برای تنظیم دبی از دبی‌سنج دیجیتال اولتراسونیک استفاده شد. همچنین تنظیم عمق جریان با دریچه کشویی در انتهای فلوم انجام شد. شکل ۵ پلان فلوم مورد استفاده در این پژوهش و جانمایی آبشکن‌ها را در حالت دافع نشان می‌دهد.

شد. سپس ورقه‌های پلکسی‌گلاس با مفتول‌های برنجی به ارتفاع ۴۲ سانتی‌متر به هم متصل شدند. ارتفاع سازه‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که آبشکن‌ها بعد از برقراری جریان در حالت غیرمستغرق قرار بگیرند. شکل ۳ نمونه‌ای از آبشکن مورد استفاده را نشان می‌دهد.

$$r_0 = \frac{S_d}{(S_d + d)} \quad (۴)$$

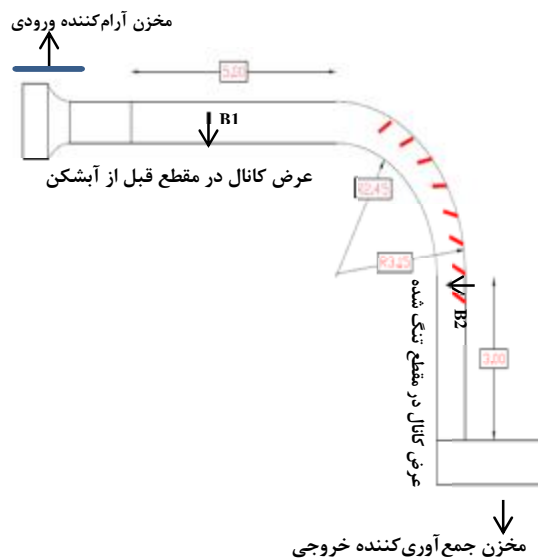
که در معادله r_0 نفوذپذیری مورد بررسی، d قطر مفتول‌ها (که در این پژوهش ثابت و برابر ۰/۴ سانتی‌متر می‌باشد) و S_d فاصله‌ی بین مفتول‌ها است.

طول مؤثر آبشکن‌ها در تمام آزمایش‌ها ثابت و برابر ۲۰ درصد عرض فلوم و برابر ۱۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای انجام هر آزمایش، در مجموع تعداد هشت سازه مورد نیاز بود. سازه اول در فاصله ۱۴۳ سانتی‌متری از ابتدای قوس و سازه‌های بعدی در فاصله ۵۶ سانتی‌متری (۴ برابر طول مؤثر آبشکن) از سازه قبلی نصب می‌شدند. در همه آزمایش‌ها فاصله‌ی سازه‌ها ثابت در نظر گرفته شد. شکل ۴ چگونگی نصب و قرارگیری آبشکن‌ها را در حالت دافع نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمایش شماتیک ابعاد چاله آبشستگی (پلان)

شرایط جریان در فلوم کمتر از شرایط آستانه حرکت رسوبات باشد و حرکت رسوب از بالادست محل آب‌شستگی وجود ندارد. قبل از شروع هر آزمایش، آبشکن‌ها با زاویه مورد نظر و با فاصله ۴ برابر طول آبشکن در قوس خارجی فلوم نصب شده و سطح رسوبات بستر با دستگاه تسطیح تراز شد. سپس دریاچه انتهایی فلوم و شیر زهکش به طور کامل بسته و جریان با دبی کم در فلوم برقرار می‌شد تا از شسته شدن ناگهانی رسوبات جلوگیری شود. بعد از ارتفاع گرفتن آب در فلوم با باز کردن دریاچه کشویی و رساندن دبی به دبی مورد نظر، عمق آب برابر ۱۴ سانتی متر ثابت شد. لحظه ثابت شدن عمق به‌عنوان لحظه شروع آزمایش در نظر گرفته شد و به مدت ۳ ساعت جریان در فلوم برقرار بود. پس از تمام شدن زمان آزمایش، دریاچه انتهایی به‌طور کامل بسته و دبی ورودی قطع شد. سپس با استفاده از باز کردن دریاچه و شیر زهکش آب فلوم تخلیه شد. همواره عملیات زهکشی به گونه‌ای انجام می‌شد که در حین تخلیه، تغییری در توپوگرافی بستر صورت نگیرد. برای برداشت تغییرات بستر از متر لیزری با دقت یک میلی‌متر استفاده شد. فاصله‌های مقاطع برای اندازه‌گیری بسته به میزان تغییرات توپوگرافی بستر متغیر و در نزدیکی آبشکن‌ها فاصله‌ها کمتر و شبکه‌بندی ریزتر در نظر گرفته شد. شایان ذکر است توپوگرافی بستر در راستای طولی و عرضی برداشت شد.



شکل ۵- پلان فلوم مورد استفاده در این پژوهش

روش انجام آزمایش

در این پژوهش اثر قرار گرفتن آبشکن‌های نفوذپذیر در سه حالت دافع (۶۰ درجه)، عمودی (۹۰ درجه) و جاذب (۱۲۰ درجه) روی ابعاد چاله آب‌شستگی بررسی شده است. با توجه به ۳ زاویه قرارگیری و ۴ عدد فرود مختلف در مجموع ۱۲ آزمایش انجام شد. جدول ۱ الگوی کلی انجام آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. عمق جریان در کلیه آزمایش‌ها معادل ۱۴ سانتی‌متر، ثابت در نظر گرفته شد. کلیه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال ($U/U_c < 0.95$) انجام شد. شرایط آب زلال به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن

جدول ۱- الگوی انجام آزمایش‌ها

تعداد آزمایش	زوایای مورد بررسی (درجه)	دبی جریان (لیتر بر ثانیه)	عمق جریان (سانتی‌متر)	عدد فرود (Fr)
	θ	Q	Y	
۱۲	۱۲۰، ۹۰، ۶۰	۲۵، ۲۷، ۳۰، ۳۳	۱۴	۰/۲۱، ۰/۲۳، ۰/۲۶، ۰/۲۸

نتایج و بحث

ورودی قوس، بیشینه سرعت در مجاورت جداره‌ی داخلی قوس بوده و با رسیدن به خروجی قوس و پس از آن به جداره خارجی قوس انتقال می‌یابد. بنابراین در این پژوهش انتظار می‌رفت که بیشینه آب‌شستگی در اطراف آبشکن‌های در انتهای خروجی قوس رخ دهد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که بیشینه آب‌شستگی مربوط به آبشکن قرار گرفته در ناحیه انتهایی قوس خارجی و در زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه قوس است. لذا این آبشکن به‌عنوان آبشکن حساس در کلیه آزمایش‌ها در نظر گرفته شد و

بررسی‌های انجام شده در خصوص هیدرولیک جریان در قوس‌ها نشان داده است که برای قوس‌های با شعاع انحنای بیشتر از ۳/۵ (قوس‌های ملایم)، توزیع تنش برشی به‌طور تقریبی در ناحیه‌ی ورودی خم یکنواخت است و یک ناحیه‌ی تنش برشی قوی در ناحیه انتهایی قوس خارجی رخ می‌دهد. همچنین پژوهش‌های انجام شده از سوی فضلی و همکاران در سال ۱۳۸۸ در رابطه با تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه نشان داد که در

نتایج ارائه شده در جدول ۲، حداکثر عمق آبشستگی در عدد فرود ۰/۲۸ در حالت جاذب معادل ۰/۵۴ برابر عمق جریان است که ۷/۴ درصد بیشتر از حالت قائم و ۱۱/۱ برابر بیشتر از حالت دافع است.

همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش عدد فرود در هر ۳ حالت زاویه قرارگیری، بیشینه مقادیر آبشستگی افزایش پیدا کرده است. دلیل آن است که با افزایش عدد فرود سرعت جریان و در نتیجه تنش برشی افزایش پیدا کرده و در نتیجه شدت برخورد جریان به آبشکن‌ها افزایش پیدا خواهد کرد که این امر سبب افزایش قدرت جریان پایین‌رونده شده و میزان آبشستگی را افزایش می‌دهد. پژوهش‌های حسین‌زاده تبریزی و همکاران (۱۳۹۳) نیز همین مطلب را تأیید می‌کند. ایشان با بررسی اثر عدد فرود بر الگوی آبشستگی اطراف آبشکن‌های سراسری سری در مسیر مستقیم به این نتیجه رسیدند که در شرایط مختلف از نظر میزان استغراق و زاویه قرارگیری آبشکن‌ها، افزایش عدد فرود جریان سبب افزایش پارامترهای آبشستگی مانند حداکثر عمق آبشستگی می‌شود.

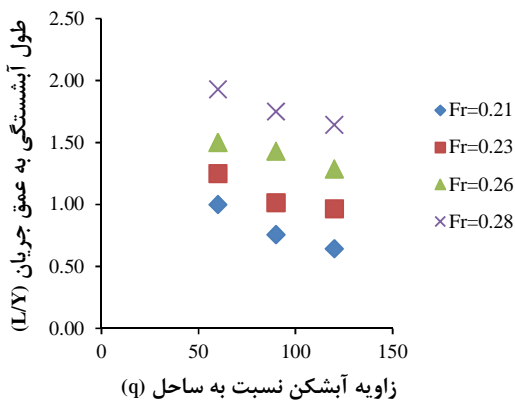
چگونگی تغییرات ابعاد چاله آبشستگی اطراف آن بررسی شد. همچنین چگونگی تغییرات حجم آبشستگی نسبت به زاویه نصب صفحات نیز در این بخش ارائه خواهد شد. در جدول ۲ نتایج کمی آزمایش‌های انجام شده، آورده شده است.

تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن‌ها بر تغییرات حداکثر عمق چاله آبشستگی در اعداد فرود مختلف

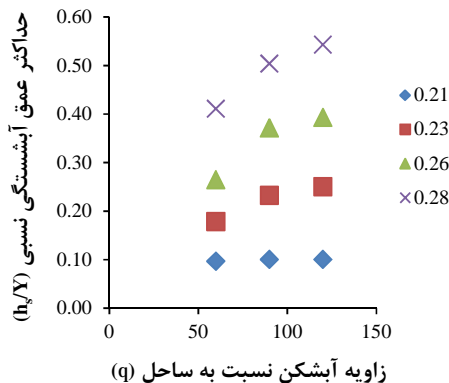
شکل ۶ تغییرات حداکثر عمق آبشستگی را نسبت به زاویه قرارگیری آبشکن‌ها نشان می‌دهد. از مقایسه عمق آبشستگی بین زوایای ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه مشاهده می‌شود که در عدد فرود ۰/۲۱ بیشینه آبشستگی در کلیه زوایا به‌طور تقریبی یکسان و کم است. در حالی که در عدد فرود ۰/۲۳، ۰/۲۶ و ۰/۲۸ بیشینه آبشستگی مربوط به زاویه ۱۲۰ درجه (جاذب) است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین سه زاویه ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه از نظر کاهش عمق آبشستگی، آبشکن با زاویه ۶۰ درجه (دافع) بهتر از آبشکن با زاویه ۹۰ و ۱۲۰ درجه است و در کلیه حالت‌ها کمترین عمق آبشستگی را دارد. با توجه به

جدول ۲- مقادیر کمی حداکثر عمق، عرض و طول آبشستگی نسبی برای هر آزمایش

شماره آزمایش	زاویه قرارگیری (θ)	عدد فرود (Fr)	حداکثر عمق آبشستگی نسبی (hs/Y)	حداکثر عرض آبشستگی نسبی (W/Y)	حداکثر طول آبشستگی نسبی (L/Y)
۱	۶۰	۰/۲۱	۰/۰۹۶	۱/۶۰۷	۱/۰۰۰
۲	۶۰	۰/۲۳	۰/۱۷۹	۱/۷۱۴	۱/۲۵۰
۳	۶۰	۰/۲۶	۰/۲۶۴	۲/۰۳۶	۱/۵۰۰
۴	۶۰	۰/۲۸	۰/۴۱۱	۲/۳۵۷	۱/۹۲۹
۵	۹۰	۰/۲۱	۰/۱۰۰	۱/۲۸۶	۰/۷۵۷
۶	۹۰	۰/۲۳	۰/۲۳۲	۱/۵۰۰	۱/۰۱۴
۷	۹۰	۰/۲۶	۰/۳۷۱	۱/۸۹۳	۱/۴۲۹
۸	۹۰	۰/۲۸	۰/۵۰۴	۲/۲۱۴	۱/۷۵۰
۹	۱۲۰	۰/۲۱	۰/۱۰۰	۱/۱۰۷	۰/۶۴۳
۱۰	۱۲۰	۰/۲۳	۰/۲۵۰	۱/۴۲۹	۰/۹۶۴
۱۱	۱۲۰	۰/۲۶	۰/۳۹۳	۱/۷۵۰	۱/۲۸۶
۱۲	۱۲۰	۰/۲۸	۰/۵۴۳	۲/۰۰۰	۱/۶۴۳



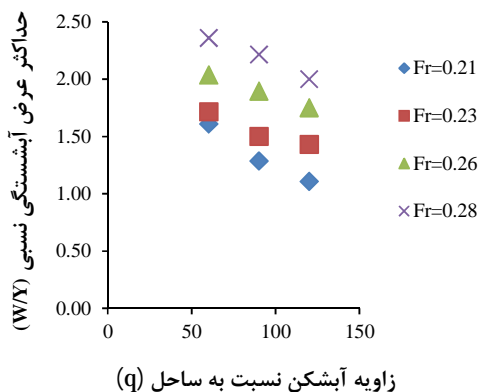
شکل ۷- تغییرات حداکثر طول آبشستگی نسبت به زاویه آبشکن در اعداد فرود مختلف



شکل ۶- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبت به زاویه آبشکن در اعداد فرود مختلف

تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن‌ها بر تغییرات حداکثر عرض چاله آبشستگی در اعداد فرود مختلف

شکل ۸ تغییرات حداکثر عرض آبشستگی نسبت به زاویه قرارگیری آبشکن را در اعداد فرود مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است بیشترین مقدار عرض چاله‌ی آبشستگی مربوط به زاویه ۶۰ درجه (دافع) و کمترین مقدار آن مربوط به زاویه ۱۲۰ درجه (جاذب) است. آبشکن جاذب به دلیل انحراف کمتر جریان نسبت به دو حالت قائم و دافع دارای گستردگی کمتری در جهت عرضی است. براساس نتایج کمی ارائه شده در جدول ۲ حداکثر عرض آبشستگی در عدد فرود ۰/۲۸ برای حالت دافع، ۲/۳۵ برابر عمق جریان محاسبه شده است که ۶ درصد بیشتر از حالت قائم و ۱۵/۱ درصد بیشتر از حالت جاذب است.



شکل ۸- تغییرات حداکثر عرض چاله آبشستگی نسبت به زاویه آبشکن در اعداد فرود مختلف

تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن‌ها بر تغییرات حداکثر طول چاله آبشستگی در اعداد فرود مختلف

شکل ۷ تغییرات حداکثر طول آبشستگی نسبت به زاویه نصب آبشکن را در اعداد فرود مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است حداکثر طول آبشستگی مربوط به زاویه ۶۰ درجه (دافع) و حداقل آن مربوط به زاویه ۱۲۰ درجه (جاذب) است. همچنین طول چاله آبشستگی با افزایش عدد فرود افزایش یافته است. براساس آنچه که در جدول ۲ آورده شده است، حداکثر طول آبشستگی در عدد فرود ۰/۲۸ برای حالت دافع معادل ۱/۹۲ برابر عمق جریان محاسبه شده است که این مقدار ۹/۲ برابر بیشتر از حالت قائم و ۱۴/۸ درصد بیشتر از حالت دافع است. در آبشکن جاذب به این دلیل که دماغه آبشکن به سمت پایین‌دست و در جهت جریان قرار دارد پس کشیدگی چاله آبشستگی به سمت پایین‌دست بیشتر خواهد بود در حالی که در آبشکن‌های قائم و دافع به دلیل انحراف بیشتر جریان به سمت دیواره مقابل، فرسایش کمتری در راستای طولی و در امتداد دماغه ایجاد خواهد شد، همچنین به دلیل نفوذپذیر بودن سازه‌ها فرصت تشکیل گردابه‌های شدید و مخرب در بالادست سازه وجود نخواهد داشت. به همین دلیل طول چاله آبشستگی در دو حالت قائم و دافع کمتر از حالت جاذب محاسبه شده است.

نتیجه‌گیری

۴۰-۲۷

5. Ezzeldin M. M. Saafan T. A. Rageh O. S. and Nejm L. M. 2007. localscou around spur dikes. 11th International Water Technology Conference. Sharm El-sheikh. Egypt.
6. Nasrollahi A. Ghodsian M. and Salehi Neyshabouri S. A. A. 2008. Local Scour at Permeable Spur Dikes. Journal of Applied Sciences. 8(19): 3398- 3406.
7. Uddin M. J. Hossain M. M. and Ali M. S. 2011. Local scour around submerged bell mouth groin for different orientations. Journal of Civil Engineering (I E B). 39(1): 1-17.
8. Vaghefi M. Ghodsian M. and Salehi 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.
9. Zhang H. and Nakagawa H. 2008. Scour around spur dykes: Recent Advances and Future Researches. Annuals of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University. No. 51.

در این پژوهش اثر زاویه قرارگیری سری آبشکن نفوذپذیر در قوس ۹۰ درجه ملایم روی ابعاد چاله آبشستگی بررسی شد. مهم‌ترین نتایج این پژوهش به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

Ø با فاصله گرفتن از ابتدای قوس شدت جریان برخوردی به آبشکن‌ها بیشتر شده و بیشینه آبشستگی در قسمت خروجی قوس، در زاویه ۸۰ تا ۹۰ قوس درجه رخ داد.

Ø حداکثر عمق چاله آبشستگی مربوط به قرارگیری آبشکن در حالت جاذب و حداقل آن مربوط به قرارگیری آبشکن در حالت دافع است.

Ø حداکثر عرض چاله آبشستگی مربوط به حالت دافع (۶۰ درجه) و حداقل آن مربوط به حالت جاذب (۱۲۰ درجه) است.

Ø حداکثر طول چاله آبشستگی در حالت دافع (۱۲۰ درجه) و حداقل طول چاله آبشستگی در حالت جاذب (۶۰ درجه) رخ داد.

Ø در کلیه زوایا ابعاد چاله‌ی آبشستگی با افزایش عدد فرود افزایش می‌یابد.

منابع

۱. حسین‌زاده تبریزی ح. واقفی م. و قدسیان م. ۱۳۹۳. تأثیر عدد فرود جریان بر الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن‌های سری در مسیر مستقیم در حالت مستغرق و غیرمستغرق. مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس. ۴(۳): ۷۱-۸۲.
۲. عباسی ع. و ملک‌نژاد یزدی م. ۱۳۹۳. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر طول، فاصله و شکل آبشکن‌های T شکل و L شکل نفوذپذیر بر عمق آبشستگی اطراف آن‌ها. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۱(۴): ۲۳۱-۲۴۶.
۳. فضلی م. قدسیان م. و صالحی نیشابوری ع. ا. ۱۳۸۸. تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه در شرایط مختلف جریان. مجله فنی و مهندسی مدرس. ۳۵: ۱۲۳-۱۴۴.
۴. یباره‌پور ا. و کاشفی‌پور م. ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی تأثیر نفوذپذیری آبشکن روی ابعاد چاله فرسایشی. نشریه دانش آب و خاک. ۲۴(۳):