Irrigation Sciences and Engineering
Vol.40, No. 2, Summer 2017, p. 1-14

علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤٠، شماره‌ی۲، تابستان ٩٦، ص. ١٤-١

تأثیر زاویه قرارگیری در سه نوع آبشکن نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندال‌لایک در شرایط مستغرق بر ابعاد هندسی آبشستگی

فاطمه جراح زاده[۱]، سید محمود کاشفی‌پور[۲*] و محمود شفاعی بجستان[۳]

۱- دانش‌آموخته دکتری رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران.
۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز kashefipour@scu.ac.ir
۳-استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۹

چکیده

در تحقیق حاضر ابعاد هندسی چاله آبشستگی در سه نوع آبشکن نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندال‌لایک که ترکیبی از آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر می‌باشد در شرایط مستغرق مورد بررسی قرار گرفته‌است. آزمایش‌ها در یک فلوم مستقیم، در سه زاویه مختلف ٦٠، ٩٠ و ١٢٠ درجه، و تحت شرایط جریان ثابت (عدد فرود برابر ٠/٢٤) انجام شد. در کلیه آزمایش‌ها ارتفاع سازه و عمق آب به ترتیب ١٢ و ١٦ سانتی‌متر بود. نتایج آزمایش‌ها به‌صورت توپوگرافی بستر، عمق، کشیدگی و عرض چاله آبشستگی نشان داده‌شد. بررسی نتایج نشان داد که میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی در آبشکن نفوذناپذیر در زاویه ٩٠ درجه و در آبشکن باندال‌لایک و نفوذپذیر در زاویه ١٢٠ درجه اتفاق می‌افتد، هم‌چنین قسمت نفوذپذیر باندال‌لایک تأثیر زیادی در کاهش حداکثر عمق آبشستگی نسبی و عرض نسبی چاله آبشستگی دارد. در هر سه نوع آبشکن حداکثر عرض نسبی در زاویه ٦٠ درجه و کمترین عرض نسبی در زاویه ٩٠ درجه اتفاق می‌افتد، بیشترین کشیدگی چاله آبشستگی در آبشکن نفوذناپذیر در زاویه ٩٠ درجه و در آبشکن باندال‌لایک و نفوذپذیر در زاویه ٦٠ درجه اتفاق می‌افتد و قسمت نفوذناپذیر باندال‌لایک اثر قابل توجهی در افزایش کشیدگی نسبی چاله آبشستگی دارد.

کلیدواژه‌ها: آبشکن باندال‌لایک، آبشکن نفوذپذیر، آبشکن نفوذناپذیر، زاویه قرارگیری سازه، چاله آبشستگی، شرایط مستغرق.

The Effects of Permeable, Impermeable and Bandal-like Spur-dike Angel On Geometric Dimensions of Scouring In Submerged Conditions

F. Jarrahzade[1] , S. M. Kashefipour[2*] and M. Shafai Bajestan[3]

1- Ph.D Educated of Department of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.,
2*- Corresponding Author, Professor of Department of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
3- Professor of Department of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received:1 March 2015 Accepted: 31 October 2015

Abstract

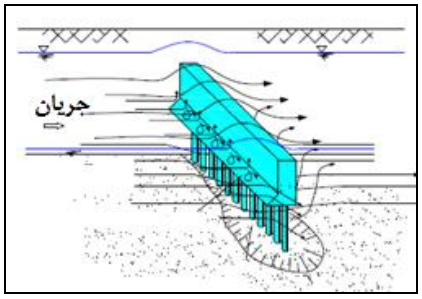
The purpose of this study is to compare the scouring hole geometric dimensions for three kinds of spur-dike: permeable, impermeable and bandal-like for submerged conditions by conducting a set of experimental tests. Bandal-like is made by combining permeable and impermeable spur-dikes. Experimental tests were carried out in a straight flume at a constant structure height equal to 12cm and three angels equal to 60, 90, 120 degrees at a constant flow condition (Fr=0.24 , y=16cm). Results were presented as bed topography, depth, length and width of scour hole. It was found that the ratio of maximum scour to flow depth occurs at 90, 120, 120 degrees for impermeable, permeable and bandal-like spur dike, respectively. Permeable part of bandal-like was found to be

effective in decreasing the ratio of maximum scour depth to flow depth and the ratio of scour width to flow depth. The ratio of maximum and minimum scour width to flow depth occurs at 60 and 90 degrees, respectively for three kinds of spur-dikes. The ratio of maximum scour length to flow depth in impermeable, permeable and bandal-like occurs at 90, 60 and 60 degrees, respectively. Impermeable part of bandal-like was found to be effective in increasing the ratio of maximum scour length to flow depth.

Keywords: Bandal-like spur-dike, Permeable spur-dike, Impermeable spur-dike, the Angel of structure, Scour hole, Submerged condition**.**

مقدمه

آبشکن‌های رودخانه ای، از سازه‌های مهم ساماندهی رودخانه به شمار می‌آیند. آبشکن‌ها مبتنی بر ساخت سازه‌های متقاطع یا عرضی هستند که از دیواره طبیعی رودخانه با طول مناسب و با زاویه مناسبی نسبت به راستای عمومی جریان توسعه یافته سبب انحراف حمله جریان از کناره‌ها و نواحی بحرانی شده و جریان را به سمت محور مرکزی رودخانه هدایت می‌نمایند. بنابراین با گذشت زمان، جریان در بخش میانی بازه رودخانه متمرکز می‌گردد و به صورت منفرد یا به صورت یک سری متوالی در یک و یا در دو سمت رودخانه ساخته می شوند (علیزاده ارمکی و همکاران، ۱۳۹۰). سازه باندال‌لایک نوعی جدید از آبشکن است که به صورت ترکیبی از یک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر می‌باشد و با انتقال جریان‌های فرسایشی به دور از ساحل رودخانه و با هدایت جریان در مسیر مورد دلخواه امکان حفاظت غیر مستقیم را فراهم می‌آورد. می‌توان این سازه را از مواد قابل دسترس نظیر قطعه‌های چوب ساخت. مشخصه اصلی سازه باندال‌لایک این است که قسمت بالایی آن مانند یک آبشکن نفوذناپذیر عمل می‌کند و باعث تغییر جهت سرعت جریان در لایه‌های سطحی آب از نزدیک ساحل به لایه‌های درونی رودخانه می‌شود. قسمت پایین این سازه نیز مانند یک آبشکن نفوذپذیر عمل می‌کند و به علت عدم تغییر شکل ناگهانی خطوط جریان، جریان‌های گردابی در این ناحیه بوجود نمی‌آید و در نتیجه آبشستگی موضعی محدودتر خواهد بود. آرایش ردیف پایه‌ها سبب کاهش سرعت جریان، کاهش انتقال رسوبات کف، ته‌نشست مواد رسوبی معلق درشت دانه و جذب مواد شناور می‌گردد. به طور کلی میدان جریان پیرامون باندال–لایک یک جریان پیچیده سه‌بعدی است که با جریان‌های به سمت پایین و گردابه‌های نعل اسبی (به دلیل قسمت نفوذناپذیر بالایی) و کاهش سرعت جریان عبوری از نیمه پایینی متمایز می‌شود. شکل (۱) الگوی جریان اطراف آبشکن باندال‌لایک را نشان می‌دهد.



شکل ۱–الگوی جریان در اطراف باندال‌لایک ها در حالت مستغرق (تراگوچی و همکاران[1] ، ۲۰۱۱)

1-Teraguchi *et al.*

مروری بر منابع نشان می‌دهد غالب تحقیقات علمی و کاربردی در خصوص آبشکن‌های بسته (نفوذناپذیر) و باز (نفوذپذیر) در شرایط مستغرق و غیر مستغرق انجام پذیرفته‌است. ساجدی سابق وهمکاران (۱۳۷۵) تأثیر تغییر زاویه قرارگیری آبشکن را در رودخانه‌ها با مدل آزمایشگاهی موردمطالعه قرار دادند. آزمایش‌ها با سه زاویه قرارگیری ۳۰ درجه به سمت پایین دست، ۱۰ درجه به سمت بالادست و عمود بر ساحل انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که به طورکلی مقدار آبشستگی با متمایل کردن آبشکن به طرف پایین‌دست کاهش می‌یابد. جراح زاده و شفاعی بجستان(۲۰۱۱) به تاثیر فاصله بین سرریز های واقع در خم[1] مستقر در قوس ۹۰ درجه تند بر میزان آبشستگی اطراف آنها وتغییرات توپوگرافی بستر پرداختند. در این آزمایش‌ها، عدد فرود برابر ۰/۳، ۰/۲۵، ۰/۱۹، طول هر سازه برابر ۸ سانتی‌متر، زاویه قرارگیری ۳۰ درجه نسبت به خط عمود بر ساحل و ارتفاع سازه ۵ سانتی‌متر اختیار شدند. در این مطالعه سازه‌ها در فواصل طولی ۲۴ ،۳۲ ،۴۰ سانتی‌متر معادل (3L، 4L، 5L) نصب گردید. پس از هر آزمایش توپوگرافی بستر برداشت گردید. معلوم گردید فاصله نصب 3L عملکرد مناسب‌تری در کنترل فرسایش داشته‌است. هم‌چنین در هر حالت حداکثر چاله فرسایشی با حضور سرریزها از محل قوس خارجی به محل دماغه سرریزها منتقل می‌گردد. علیزاده ارمکی و همکاران (۱۳۹۰) هندسه چاله آبشستگی حول آبشکن سرسپری جاذب و دافع را در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق بررسی کردند. نتایج نشان داد در آبشکن‌های سرسپری در حالت مستغرق حداکثر عمق آبشستگی در حالت جاذب بیش از دافع می‌باشد. کرمان‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) به مطالعه‌ی آزمایشگاهی رابطه تخلخل با حداکثر عمق آبشستگی آبشکن های L شکل در شرایط غیر مستغرق پرداختند و گزارش کردند، به ازای تخلخل ۴۰ تا ۵۰ درصد آبشکن، کمترین میزان آبشستگی در اطراف آبشکن با زبانه به سمت پایین دست و بیشترین آبشستگی در اطراف آبشکن با زبانه به سمت بالادست رخ می دهد. حسین‌زاده تبریزی و همکاران(۱۳۹۳) تأثیر عدد فرود بر الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن‌های سری را در مسیر مستقیم در حالت مستغرق و غیر مستغرق بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده افزایش حداکثر عمق آبشستگی در لبه بالادست آبشکن‌ها با افزایش عدد فرود و کاهش درصد استغراق است. بهرامی یاراحمدی و همکاران(۱۳۹۳) در تحقیقی به بررسی تاثیر سرریزهای گوه‌ای شکل با طول‌های موثر مختلف بر وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری در قوس ۹۰ درجه ملایم پرداختند. آزمایش‌ها در یک فلوم قوسی ۹۰ درجه ملایم و به ازای دبی‌های ۲۰و۲۲و۲۴و۲۶ لیتر در ثانیه انجام گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش طول موثر سرریز، حداکثر عمق آبشستگی و حجم آبشستگی و ارتفاع بیشینه رسوبات افزایش می‌یابد. به‌طور متوسط حداکثر عمق آبشستگی۰/۵۶طول موثرسرریز و فاصله آن ازساحل بیرونی در طول‌های موثر مختلف۱/۳–۱/۵برابر طول موثر سرریز می‌باشد. هم‌چنین ارتفاع بیشینه رسوبات به‌طور متوسط ۰/۳۱طول موثرسرریز می‌باشد. شجاعیان (۱۳۹۳) اثر هندسه آبشکن باندال لایک روی الگوی فرسایش و جریان را در شرایط غیر مستغرق بررسی کرد. آزمایش‌ها با سه درصد نفوذپذیری ۳۰درصد، ۴۵ درصد و۶۴درصد و سه زاویه ۶۰،۹۰،۱۲۰ درجه و با سه نسبت فاصله بین سازه به طول سازه ۲، ۲/۵، ۳ انجام‌شد. مشخص گردید با افزایش درصد نفوذپذیری در باندال‌لایک‌ها مقدار عمق آبشستگی نسبی کاهش می یابد. بیشترین آبشستگی آبشکن در زاویه ۹۰ درجه رخ می‌دهد. تأثیر فاصله در کاهش عمق آبشستگی در آبشکن نوع باندال‌لایک بسیار ناچیز است. از نظر کاهش عمق آبشستگی، زاویه۶۰ درجه به مراتب بهتر از آبشکن‌های دیگر می‌باشد. از بین آبشکن‌های باندال‌لایک بیشترین کشیدگی و عرض چاله مربوط به حالت‌نفوذپذیری ۳۰ درصد و زاویه ۱۲۰ درجه و کمترین کشیدگی‌و عرض چاله مربوط به نفوذپذیری ۶۴ درصد و زاویه۹۰ درجه می‌باشد. کوهنل و همکاران[2] (۲۰۰۲) الگوی آبشستگی اطراف یک آبشکن مستغرق با زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه با نسبت‌های انسداد ۰/۱۲۵ و ۰/۲۵۰ را مطالعه کردند. در هر دو نسبت تنگ‌شدگی، آبشکن با زاویه ۴۵ درجه بیشترین میزان فرسایش بستر در مجاورت ساحل کانال را داشته در حالی‌که در آبشکن‌های ۹۰ و ۱۳۵ درجه میزان فرسایش ساحل به کمترین مقدار خود رسیده بود. بر اساس نتایج آزمایش با وجود اینکه حجم آبشستگی در آبشکن ۱۳۵ درجه بیشترین مقدار خود را داشته ولی کمترین آبشستگی را در ساحل ایجاد کرده است. رحمان و همکاران[3] (۲۰۰۴) به بررسی کنترل رسوب و جریان توسط باندال‌ها تحت شرایط آب زلال پرداختند. ژانگ و همکاران[4] (۲۰۰۵) از یک فلوم آزمایشگاهی برای بررسی جریان آشفته و تغییرات بستر در اطراف آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر استفاده کردند. آبشکن‌های مورد استفاده در این تحقیق حالت غیرمستغرق داشته و در طرفین کانال تعبیه شدند. بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته آبشکن‌های نفوذپذیر مانع از فرسایش کناره‌های ساحل شده و باعث گود شدن کانال اصلی گردیدند. از این لحاظ این آبشکن‌ها برای کشتیرانی بسیار مناسب می‌باشند. آبشکن‌های نفوذناپذیر در جهت ترمیم رودخانه بسیار موثرتر از آبشکن‌های نفوذ پذیر عمل کردند. بر اساس این تحقیق بهتر است اولین آبشکن از بالادست از نوع نفوذپذیر ساخته شده و مابقی آبشکن‌ها از نوع نفوذناپذیر طراحی گردند، به‌دلیل اینکه بر اساس

1- Bendway weirs

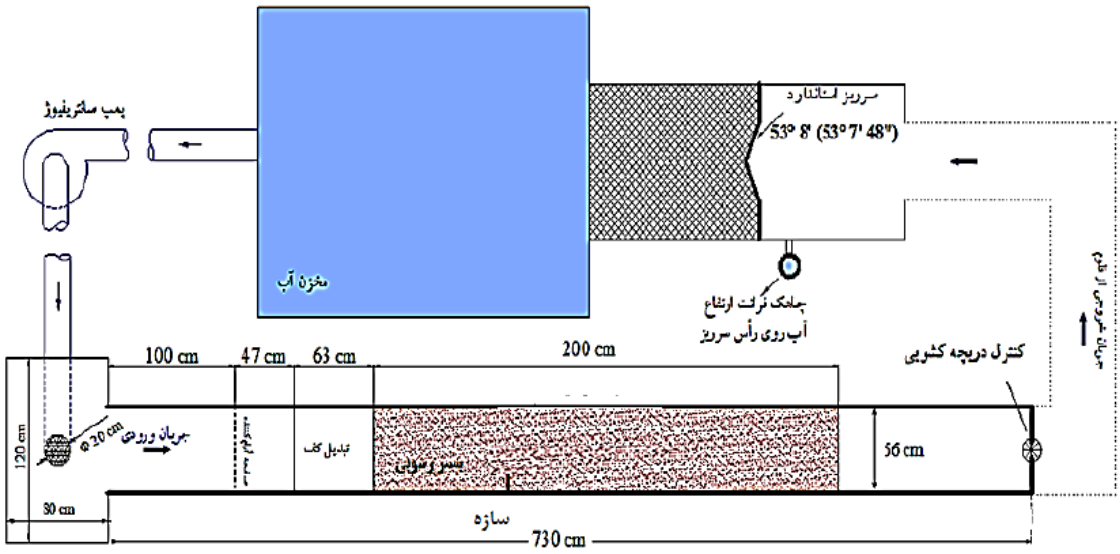
2- Kuhnle *et al.*
3-Rahman *et al.*
4- Zhang *et al.*

نتایج آزمایشگاهی مشخص گردید که میزان آبشستگی در محدوده اولین آبشکن از نوع نفوذ ناپذیر بسیار شدید بوده و امکان تخریب سازه نیز وجود دارد. تراگوچی و همکاران (۲۰۱۱) به صورت آزمایشگاهی و هم با استفاده از مدل سه بعدی به بررسی الگوی جریان و رسوب پیرامون سازه باندال‌لایک در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق پرداختند. آزمایش‌ها در یک فلوم به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۸ متر، عمق ۰/۲۸ متر (عمق منطقه آزمایش ۰/۴۵ متر) و شیب ۰/۰۰۱۲۵ و در شرایط بستر متحرک انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که این سازه در مقایسه با آبشکن‌های نفوذناپذیر چاله آبشستگی کوچک‌تری را ایجاد می‌کند. همچنین به دلیل اینکه بخش پایینی سازه نفوذپذیر است رسوبات معلق از این بخش عبور کرده و در پایین‌دست سازه ته‌نشست می‌شوند. از این رو این سازه در رودخانه‌های آبرفتی می‌تواند کارایی خوبی در جهت حفاظت از سواحل و بستر رودخانه داشته باشد. هم‌چنین قسمت بالایی سازه باندال‌لایک که جریان را به مسیر اصلی هدایت می کند بر افزایش عمق به منظور بهبود کشتیرانی و تثبیت مسیر رودخانه کمک می‌کند.

ژانگ و همکاران (۲۰۱۰ و۲۰۱۱) از نظر هیدرولیکی و مورفولوژیکی به بررسی آزمایشگاهی و عددی سازه باندال‌لایک و اثر بخشی آن بر حفاظت ساحل در طول رودخانه جامونا در بنگلادش پرداختند و دریافتند این سازه می‌تواند به نحو مؤثری رسوب‌گذاری را افزایش دهد. با توجه به مطالعاتی که مرور شد مشخص گردید که در رابطه با آبشکن باندال‌لایک مطالعات کمی صورت گرفته‌است و به‌خصوص درمورد مقایسه این سازه با آبشکن معمولی از نظر تأثیر زاویه نصب آن بر توپوگرافی بستر در شرایط مستغرق تحقیقی صورت نگرفته‌است که در این مقاله به آن پرداخته‌شده‌است.

مواد و روش‌ها

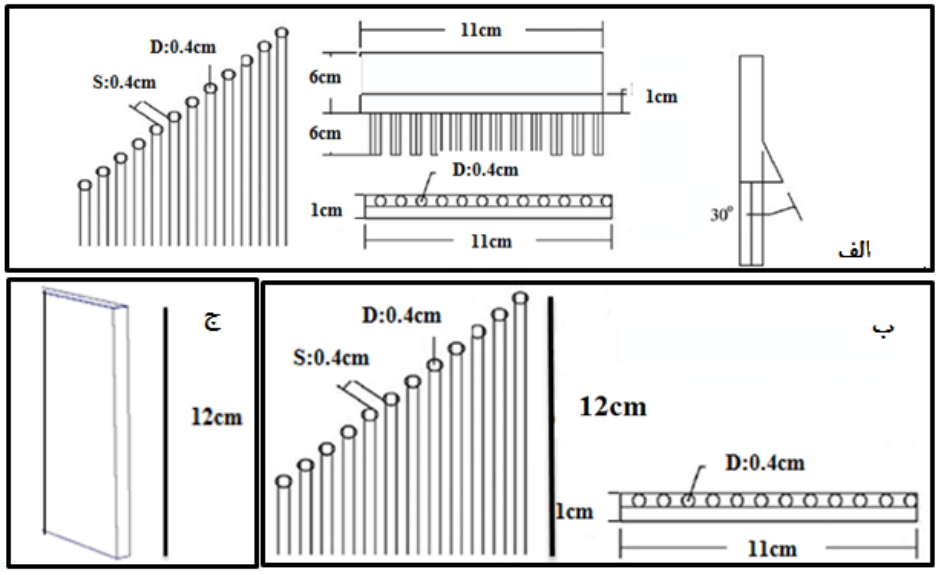
آزمایش‌ها در یک فلوم مستطیلی به طول ۷/۳۰ متر، عرض ۰/۵۶ متر و عمق ۰/۶۰ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. دبی جریان به کمک یک سرریز مثلثی استاندارد شده در انتهای مجموعه فلوم و بعد از دریچه کشویی، اندازه‌گیری می گردید (شکل ۲).



شکل۲- نمای پلان مدل آزمایشگاهی به همراه ضمائم

جدول۱- طرح کلی آزمایش‌ها

شماره	نوع آبشکن	عدد فرود	زاویه سازه	شماره	نوع آبشکن	عدد فرود	زاویه سازه	شماره	نوع آبشکن	عدد فرود	زاویه سازه
۱	نفوذناپذیر	۰/۲۴	۶۰	۴	باندال‌لایک	۰/۲۴	۶۰	۷	نفوذپذیر	۰/۲۴	۶۰
۲	نفوذناپذیر	۰/۲۴	۹۰	۵	باندال لایک	۰/۲۴	۹۰	۸	نفوذپذیر	۰/۲۴	۹۰
۳	نفوذناپذیر	۰/۲۴	۱۲۰	۶	باندال لایک	۰/۲۴	۱۲۰	۹	نفوذپذیر	۰/۲۴	۱۲۰



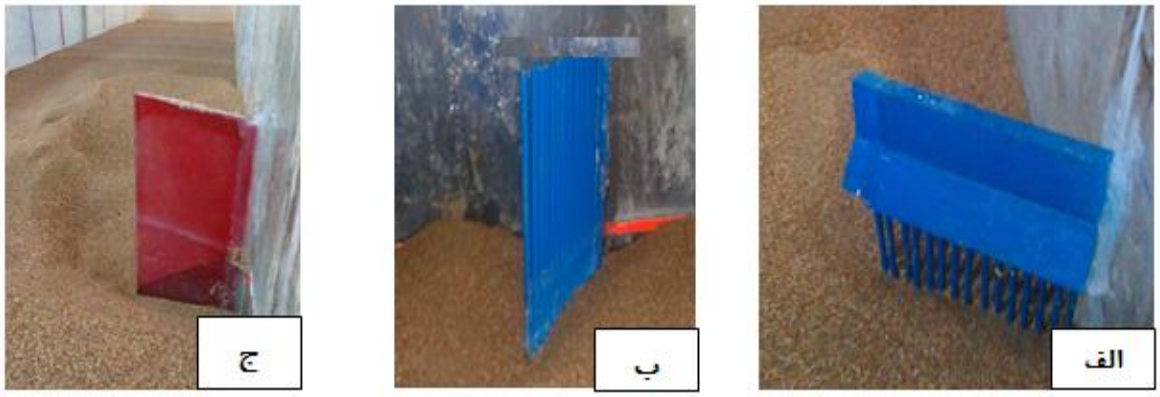
شکل ۳- ابعاد هندسی، الف)آبشکن باندال‌لایک، ب)آبشکن نفوذناپذیر و ج)آبشکن نفوذپذیر

رسوباتی که در آزمایش‌ها استفاده شد، یکنواخت بوده ودارای اندازه میانه ذرات[1] ۰/۷ میلی‌متر می‌باشند. همه آزمایش‌ها با استفاده از تک آبشکن و در شرایط مستغرق انجام شد. از آن‌جایی‌که برنامه‌ریزی شده‌بود تا شرایط آب زلال برقرار گردد، ابتدا آزمایش‌های اولیه‌ای بدون استفاده از سازه برای مشخص نمودن آستانه حرکت رسوبات انجام شد. به ازای نسبت سرعت به سرعت آستانه حرکت برابر با ۰/۹۶ و عمق جریان ثابت ۱۶ سانتی‌متر حداکثر عدد فرود ۰/۲۴ به‌دست آمد. از آنجا که هدف از انجام آزمایش‌های این تحقیق، مقایسه تغییرات مشخصات چاله آبشستگی بود، بنابراین زمان انجام آزمایش‌ها ثابت و سه ساعت در نظر گرفته شد (جانسون و همکاران[2] ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲). طول سازه ۱۱ سانتی‌متر (۱۵ درصد عرض فلوم) می‌باشد. هر یک از سازه‌ها در سه زاویه ۶۰ درجه(دافع) ۹۰ درجه (قائم)، ۱۲۰ درجه (جاذب) مورد آزمایش قرار گرفتند، این شرایط بر اساس استانداردهای موجود برای آبشکن‌ها انتخاب‌شدند. لازم به ذکر است بر اساس آزمایش‌های تراگوچی و همکاران (۲۰۱۱) درصد بازشدگی در آبشکن نفوذپذیر و آبشکن باندال‌لایک ۵۰ درصد و ارتفاع سازه ۱۲ سانتی‌متر اختیار شد. در هر آزمایش پس از تراز و صاف نمودن سطح رسوب جریان به آرامی و با کنترل دریچه پایین‌دست به نحوی انجام می‌پذیرفت که سطح رسوب تا رسیدن به شرایط مورد نظر آزمایش (یعنی عمق ۱۶ سانتی‌متر و عدد فرود ۰/۲۴) فرسایش نیابد. در انتهای هر آزمایش پس از تخلیه کامل آب به کمک متر لیزری در شبکه‌ای که دقت لازم را داشته‌است، توپوگرافی کف برداشت می‌شد. فاصله‌های نقاط برداشت شده کف در اطراف سازه برای افزایش دقت کمتر شده، و تعداد نقاط برداشت شده بیشتر بوده‌است. جدول(۱) طرح کلی آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

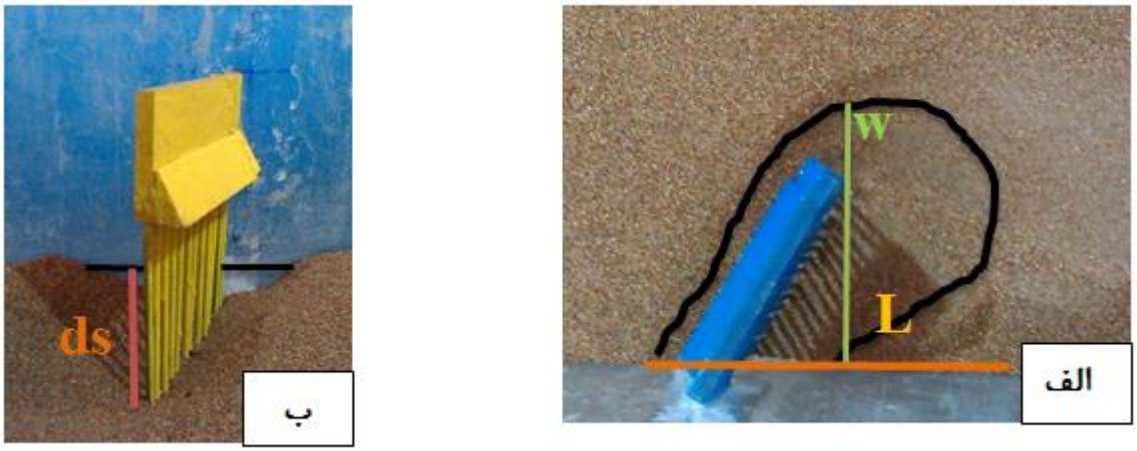
1-D_{50}
2-Johnson *et al.*

آبشکن نفوذناپذیر از پلکسی‌گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر و آبشکن نفوذپذیر با استفاده از مفتول ساخته‌شد. در آبشکن باندال‌لایک ۵۰ درصد ارتفاع (۶ سانتی‌متر) نفوذپذیر و از جنس مفتول و ۵۰ درصد دیگر ارتفاع نفوذناپذیر و از جنس پلکسی‌گلاس ساخته‌شد. در منطقه اتصال بخش نفوذپذیر و نفوذناپذیر قطعه‌ای با مقطع مثلث از جنس چوب و با زاویه ۳۰ درجه به منظور کاهش آبشستگی ناشی از برخورد جریان به سازه قرار گرفت. در شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب ابعاد هندسی و نمای آبشکن باندال‌لایک، نفوذپذیر و نفوذناپذیر آورده‌شده‌است.

شکل (۵) تصویر آبشستگی اطراف آبشکن‌ها را در حالت کلی نشان می‌دهد. در این شکل پارامتر L بیان‌گر کشیدگی چاله آبشستگی،W بزرگ‌ترین فاصله عمودی در جهت عرض کانال بین دیواره کانال و دورترین نقطه گودال آبشستگی می‌باشد.



شکل ٤- نمایی از الف)آبشکن باندال‌لایک، ب)آبشکن نفوذپذیر و ج)آبشکن نفوذناپذیر



شکل ٥-نمای الف)کشیدگی(L) و عرض (w) ، ب)حداکثر عمق آبشستگی (ds)

با توجه به ثابت بودن عرض و شیب کانال اصلی، اندازه ذرات رسوبی، طول سازه، ارتفاع سازه، عمق استغراق سازه، درصد بازشدگی سازه و عدد فرود، پارامترهای بی‌بعد مهم برای هریک از سازه‌ها عبارتند از:

$$\frac{ds}{y} = f(\alpha) \quad (۱)$$

$$\frac{L}{y} = f(\alpha) \quad (۲)$$

$$\frac{W}{y} = f(\alpha) \quad (۳)$$

در این روابط، α زاویه سازه نسبت به ساحل می‌باشد.

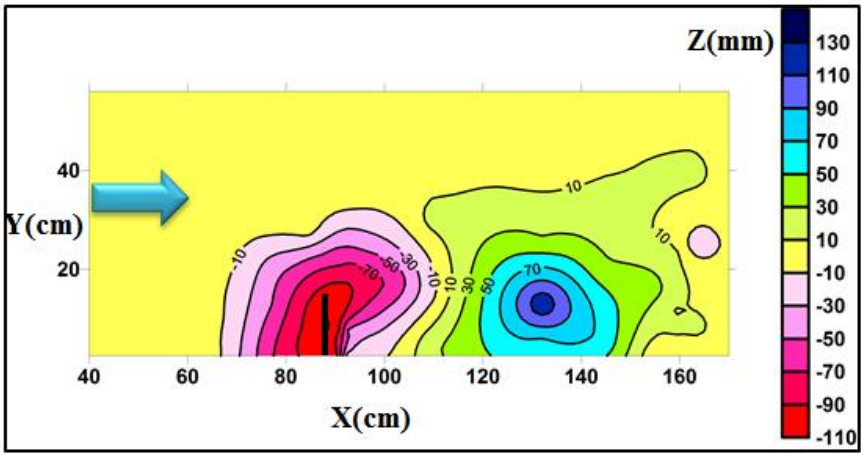
نتایج و بحث

شکل‌های (۶) تا (۸) توپوگرافی بستر را به ترتیب برای آبشکن نفوذناپذیر، باندال‌لایک و نفوذپذیر در$Fr=۰/۲۴$، زاویه قرارگیری نسبت به ساحل ۹۰ درجه و طول ۱۱ سانتی‌متر نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل‌ها مشاهده می‌شود عرض، عمق و گسترش چاله آبشستگی در آبشکن باندال‌لایک کمتر از آبشکن نفوذناپذیر و بیشتر از آبشکن نفوذپذیر می‌باشد. در آبشکن نفوذناپذیر در شرایط مستغرق علاوه بر وجود جریان پایین رونده که موجب آبشستگی در بالادست آبشکن می‌گردد، یک لایه جریان چرخشی با محور افقی در امتداد طولی بدنه آبشکن و در پایین‌دست آن ایجاد می‌گردد. ریزش جریان همراه با تلاطم چرخشی آن، باعث آبشستگی در پایین دست آبشکن می‌گردد. به بیان دیگر در آبشکن‌های نفوذناپذیر عدم امکان عبور جریان از لابلای سازه افزایش ناگهانی سرعت و در نتیجه میزان زیاد آبشستگی را به دنبال دارد.

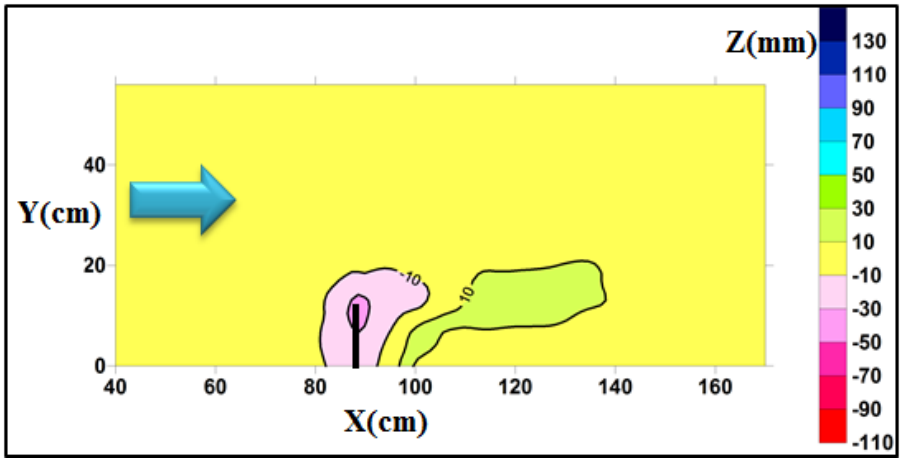
در آبشکن باندال‌لایک بخشی از جریان ازمیان میله‌ها عبور کرده و این جریان‌های عبوری باعث ضعیف شدن جریان‌های رو به پایین و جریان‌های گردابی می‌شود و در نتیجه اغتشاشات کمتری در فضای اطراف آبشکن ایجاد می‌شود. هم‌چنین با توجه به مستغرق بودن سازه‌ها در باندال‌لایک بخشی از جریان از قسمت نفوذپذیر عبور می کند در نتیجه جریان عبوری از روی سازه نسبت به آبشکن نفوذناپذیر قدرت فرسایش کمتری دارد.

افزایش عمق، عرض و کشیدگی چاله آبشستگی در باندال‌لایک نسبت به آبشکن نفوذپذیر به‌دلیل برخورد بخشی ازجریان آب به قسمت نفوذناپذیر باندال لایک می‌باشد که به‌دنبال آن تلاطم و آبشستگی بیشتری ایجاد می‌شود. هم‌چنین با توجه به وجود شرایط استغراق، قسمت نفوذناپذیر سازه موجب می‌شود جریان‌عبوری از روی سازه به سمت بستر متمایل شود، در حالی‌که در آبشکن نفوذپذیر همه جریان به راحتی از لابه‌لای میله ها عبور کرده در نتیجه علاوه براینکه تلاطم کمتری ایجاد می‌شود جریان عبوری از روی سازه کمتر به سمت بستر متمایل می‌شود.

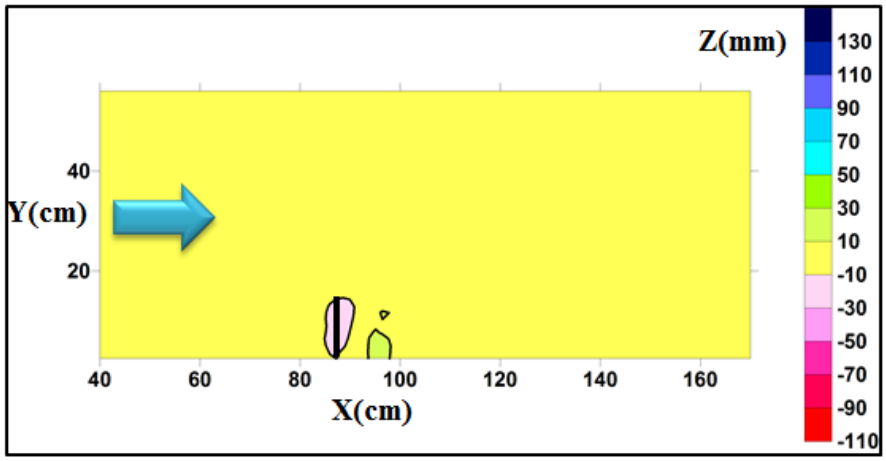
در هر سه نوع سازه رسوبات حاصل از چاله آبشستگی در پایین‌دست چاله آبشستگی تجمع می‌یابد.



شکل ٦- توپوگرافی بستر پیرامون آبشکن نفوذناپذیر در حالت$Fr= ۰/۲٤$ و$\alpha =$۹۰ درجه



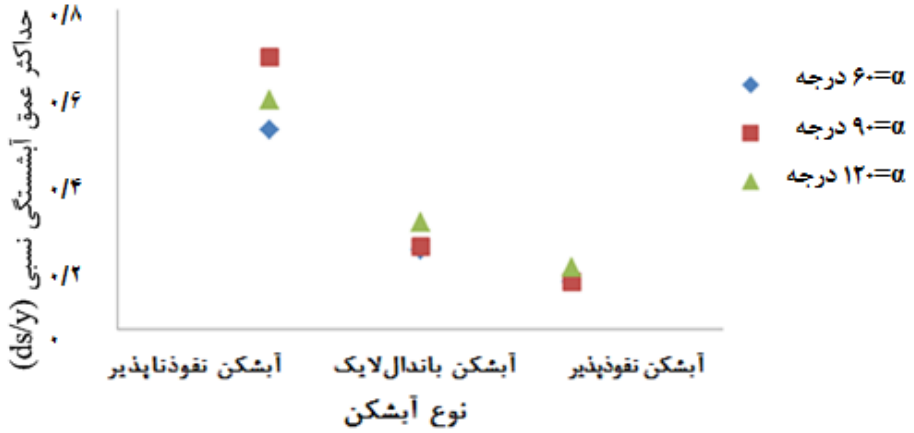
شکل ۷- توپوگرافی بستر پیرامون آبشکن باندال‌لایک در حالت Fr= ۰/۲٤ و α =۹۰ درجه



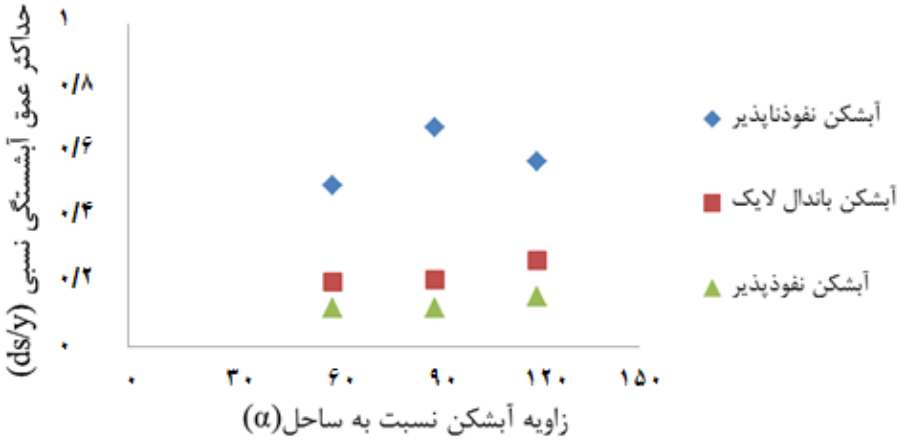
شکل ۸- توپوگرافی بستر پیرامون آبشکن نفوذپذیر در حالت Fr= ۰/۲٤ و α=۹۰ درجه

در شکل (۹) حداکثر عمق آبشستگی نسبی $(\frac{d_s}{y})$ که در آن d_s حداکثر عمق آبشستگی و y عمق آب می‌باشد، در مقابل نوع آبشکن رسم‌شده‌است. در شکل (۱۰) حداکثر عمق آبشستگی نسبی در مقابل زاویه قرارگیری سازه رسم شده‌است. در جدول (۲) حداکثر عمق آبشستگی نسبی در سه نوع آبشکن و در سه زاویه ۶۰، ۹۰و ۱۲۰ درجه مقایسه شده‌است. با توجه به شکل (۹) میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی در آبشکن نفوذناپذیر در زاویه ۹۰ درجه نسبت به ۱۲۰ درجه ۱۶ درصد و نسبت به زاویه ۶۰ درجه ۲۶ درصد افزایش داشته‌است. این مسئله به دلیل افزایش قدرت جریان‌های رو به پایین و قدرت بیشتر جریان‌های گردابه‌ای اطراف آبشکن نفوذناپذیر در زاویه ۹۰ درجه نسبت به زاویه ۶۰ و۱۲۰درجه می‌باشد.

در آبشکن باندال‌لایک این پارامتر در زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به ۹۰درجه ۲۲ درصد و نسبت به ۶۰ درجه ۲۶ درصد بیشتر است. در آبشکن نفوذپذیر این پارامتر در زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به زاویه ۹۰ و ۶۰ درجه ۲۵ درصد بیشتر است. زیرا در آبشکن باندال‌لایک و نفوذپذیر در زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به ۱۲۰ درجه جریان آب راحت‌تر از میان میله‌های قسمت نفوذپذیر عبور کرده و تلاطم کمتری ایجاد می‌کند. بنابراین در سه نوع آبشکن میزان حداکثر عمق آبشستگی در حالت جاذب بیش از دافع می‌باشد که این مسئله با نتایج علیزاده ارمکی و همکاران (۱۳۹۰) درباره تأثیر زاویه در آبشکن‌های سرسپری در حالت مستغرق هم‌خوانی دارد.



شکل۹-حداکثر عمق آبشستگی نسبی برای سه نوع آبشکن نفوذناپذیر، باندال‌لایک و نفوذپذیر



شکل۱۰- حداکثر عمق آبشستگی نسبی در سه زاویه۹۰درجه،۱۲۰درجه و ۶۰درجه

جدول۲-مقایسه حداکثر عمق آبشستگی نسبی در سه نوع آبشکن و در سه زاویه ۶۰، ۹۰ و۱۲۰ درجه

زاویه نسبت به ساحل (درجه)	۶۰	۹۰	۱۲۰
(ds/y) در آبشکن نفوذناپذیر	۰/۵۰	۰/۶۸	۰/۵۷
(ds/y) آبشکن باندال‌لایک	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۷
(ds/y) در آبشکن نفوذپذیر	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۶

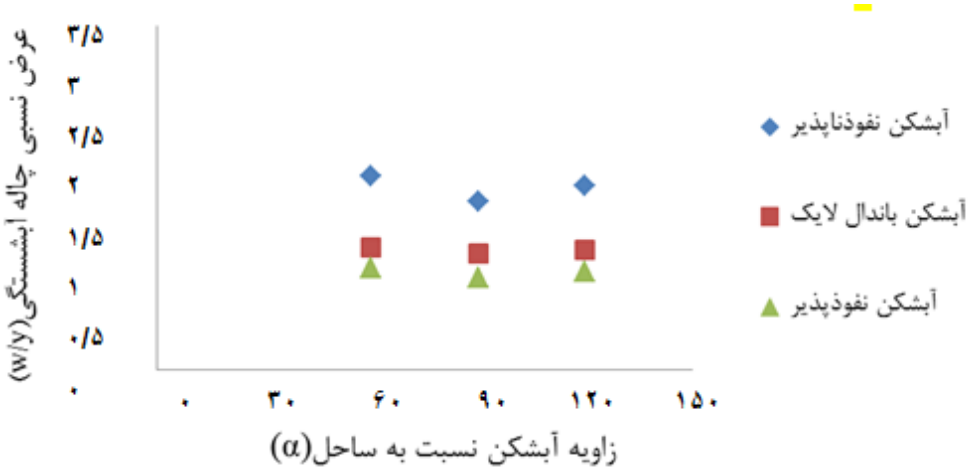
با توجه به شکل (۱۰) در زاویه ۶۰ درجه میزان عمق آبشستگی نسبی در آبشکن باندال‌لایک ۶۰ درصد کمتر از آبشکن نفوذناپذیر و ۴۰ درصد بیشتر از آبشکن نفوذپذیر است. کاهش این پارامتر در باندال‌لایک نسبت به آبشکن نفوذناپذیر به دلیل عدم وجود جریان رو به پایین و جریان گردابی اطراف باندال‌لایک می‌باشد. که وجود جریان‌های گردابی یکی از عوامل مهم آبشستگی اطراف سازه‌های آبی است. هم‌چنین با توجه به مستغرق بودن سازه‌ها در باندال‌لایک بخشی از جریان از قسمت نفوذپذیر عبور می کند در نتیجه جریان عبوری از روی سازه نسبت به آبشکن نفوذناپذیر قدرت فرسایش کمتری دارد. افزایش عمق آبشستگی نسبی در باندال‌لایک نسبت به آبشکن نفوذپذیر به‌دلیل برخورد بخشی ازجریان آب به قسمت نفوذناپذیر باندال‌لایک می باشد که بدنبال آن تلاطم و آبشستگی بیشتری ایجاد می شود. هم‌چنین با توجه به وجود شرایط استغراق، قسمت نفوذناپذیر سازه موجب می‌شود جریان‌عبوری از روی سازه به

سمت بستر متمایل شود، در حالی‌که در آبشکن نفوذپذیر همه جریان به راحتی از لابه‌لای میله‌ها عبور کرده در نتیجه علاوه براینکه تلاطم کمتری ایجاد می‌شود، جریان عبوری از روی سازه کمتر به سمت بستر متمایل می‌شود. پارامتر عمق آبشستگی نسبی در باندال‌لایک در زاویه ۹۰ درجه ۶۹ درصد کمتر از آبشکن نفوذناپذیر و ۴۲ درصد بیشتر از آبشکن نفوذپذیر می‌باشد. در زاویه ۱۲۰ درجه این مقادیر به ترتیب ۵۲ درصد و ۴۰درصد می‌باشد. میزان تفاوت حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در آبشکن نفوذپذیر و باندال لایک کمتر از آبشکن نفوذناپذیر و باندال‌لایک می‌باشد. این مسئله نشان‌دهنده تأثیر وجود قسمت نفوذپذیر در کاهش حداکثر عمق آبشستگی نسبی‌است. در شکل (۱۱) عرض نسبی چاله آبشستگی در مقابل نوع آبشکن و در شکل (۱۲) عرض نسبی چاله آبشستگی در مقابل زاویه قرارگیری سازه رسم شده‌است. در جدول (۳) عرض نسبی چاله آبشستگی در سه نوع آبشکن و در سه زاویه ۶۰،۹۰ و ۱۲۰ درجه مقایسه شده‌است.

با توجه به شکل (۱۱) میزان عرض نسبی چاله آبشستگی در آبشکن نفوذناپذیر در زاویه ۶۰ درجه نسبت به زاویه ۱۲۰ درجه ۵ درصد و نسبت به زاویه ۹۰ درجه ۱۲ درصد افزایش داشته‌است. در آبشکن باندال‌لایک این پارامتر در زاویه ۶۰ درجه نسبت به ۱۲۰ درجه ۲ درصد و نسبت به ۹۰ درجه ۴ درصد بیشتر است. در آبشکن نفوذپذیر این پارامتر در زاویه ۶۰ درجه نسبت به زاویه ۱۲۰ درجه ۳ درصد و نسبت به زاویه۹۰ درجه ۸ درصد بیشتر است. بنابراین در هر سه نوع آبشکن حداکثر عرض نسبی در زاویه ۶۰ درجه و کمترین عرض نسبی در زاویه ۹۰ درجه اتفاق می‌افتد. میزان تفاوت عرض نسبی چاله آبشستگی در آبشکن نفوذپذیر و باندال‌لایک کمتر از آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد. این مسئله نشان‌دهنده تاثیر وجود قسمت نفوذپذیر در کاهش عرض نسبی چاله آبشستگی است. زیرا با عبور بخشی از جریان از قسمت نفوذپذیر تلاطم کمتری در جریان ایجاد می‌شود.



شکل۱۱- عرض نسبی چاله آبشستگی برای سه نوع آبشکن نفوذناپذیر، باندال‌لایک و نفوذپذیر



شکل۱۲- عرض نسبی چاله آبشستگی در سه زاویه۹۰درجه، ۱۲۰درجه و ۶۰درجه

جدول۳-مقایسه عرض نسبی چاله آبشستگی در سه نوع آبشکن و در سه زاویه ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه

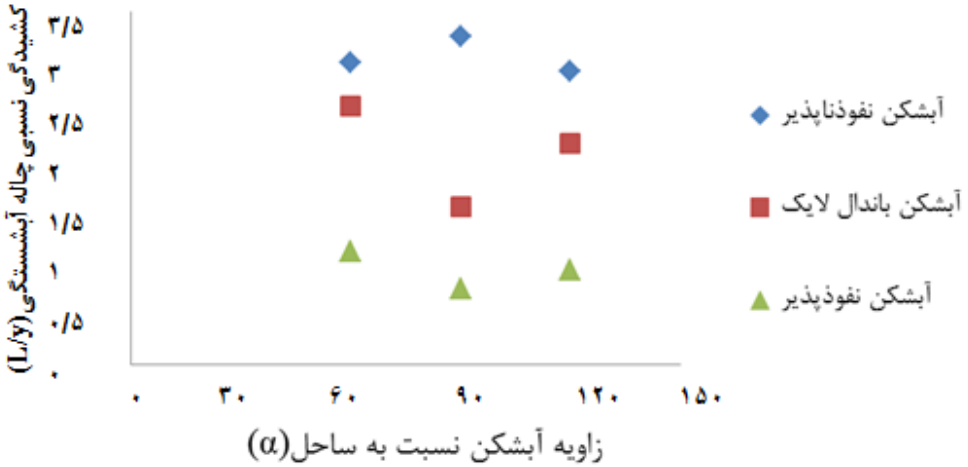
زاویه نسبت به ساحل (درجه)	۶۰	۹۰	۱۲۰
(w/y) درآبشکن نفوذناپذیر	۱/۹۷	۱/۷۲	۱/۸۷
(w/y) درآبشکن باندال‌لایک	۱/۲۵	۱/۱۹	۱/۲۲
(w/y) درآبشکن نفوذپذیر	۱/۰۳	۰/۹۴	۱

با توجه به شکل (۱۲) و جدول (۳) در زاویه ۶۰ درجه میزان عرض نسبی چاله آبشستگی در آبشکن باندال‌لایک ۳۶ درصد کمتر از آبشکن نفوذناپذیر و ۳۴ درصد بیشتر از آبشکن نفوذپذیر است. این مقادیر در زاویه ۹۰ درجه به ترتیب ۳۰ درصد و۲۱ درصد و در زاویه ۱۲۰ درجه به ترتیب ۳۴ درصد و ۱۸درصد می‌باشد. دلیل افزایش عرض نسبی چاله آبشستگی در آبشکن نفوذناپذیر وجود جریان گردابی در دماغه سازه می‌باشد. دلیل افزایش این پارامتر در باندال-لایک نسبت به آبشکن نفوذپذیر وجود بخش صلب در بالای این سازه می‌باشد که موجب تلاطم بیشتر جریان می‌گردد. به طور کلی شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان‌می‌دهند زاویه قرارگیری سازه تاثیر قابل ملاحظه‌ای در توسعه عرض چاله آبشستگی ندارد.

در شکل (۱۳) کشیدگی نسبی چاله آبشستگی در مقابل نوع آبشکن و در شکل (۱۴) کشیدگی نسبی چاله آبشستگی در مقابل زاویه قرارگیری سازه رسم شده‌است. در جدول (۴) کشیدگی نسبی چاله آبشستگی در سه نوع آبشکن و در سه زاویه ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ درجه مقایسه شده‌است. با توجه به شکل (۱۳) میزان کشیدگی نسبی چاله آبشستگی در آبشکن نفوذناپذیر در زاویه ۹۰ درجه نسبت به ۱۲۰ درجه، ۱۰ درصد و نسبت به زاویه ۶۰ درجه ۷ درصد افزایش داشته‌است. در آبشکن باندال‌لایک این پارامتر در زاویه ۶۰ درجه نسبت به ۱۲۰ درجه ۱۴ درصد و نسبت به ۹۰ درجه ۳۹ درصد بیشتر است. در آبشکن نفوذپذیر این پارامتر در زاویه ۶۰ درجه نسبت به زاویه ۱۲۰ درجه ۱۶درصد و نسبت به زاویه۹۰ درجه ۳۳ درصد بیشتر است. بنابراین بیشترین کشیدگی چاله آبشستگی در آبشکن نفوذناپذیر در زاویه ۹۰ درجه و در آبشکن باندال‌لایک و نفوذپذیر در زاویه ۶۰ درجه اتفاق می‌افتد. زیرا در آبشکن باندال‌لایک و نفوذپذیر تنش حاصل از عبور جریان از میان میله‌ها نقش مهمی در کشیدگی چاله آبشستگی دارد، بنابراین هر چه سازه نسبت به زاویه ۹۰ درجه بیشتر منحرف شود، امکان امتداد یافتن کشیدگی چاله آبشستگی بیشتر است. با توجه به شکل (۱۴) و جدول (۴) در زاویه ۶۰ درجه میزان کشیدگی نسبی چاله آبشستگی در آبشکن باندال‌لایک ۱۴ درصد کمتر از آبشکن نفوذناپذیر و ۵۶ درصد بیشتر از آبشکن نفوذپذیر است. این مقادیر در زاویه ۹۰ درجه به ترتیب ۵۲ درصد و ۵۱ درصد و در زاویه ۱۲۰ درجه به ترتیب ۲۴ درصد و ۵۷ درصد می‌باشد. دلیل افزایش کشیدگی نسبی چاله آبشستگی در آبشکن نفوذناپذیر وجود جریان گردابی در اطراف سازه می‌باشد. دلیل افزایش این پارامتر در باندال‌لایک نسبت به آبشکن نفوذپذیر وجود بخش صلب در بالای این سازه است که موجب تلاطم بیشتر جریان می‌گردد. ابعاد نسبی چاله آبشستگی در شرایط مختلف در جدول (۵) خلاصه شده‌اند. مقایسه اعداد ستون چهار و پنج جدول مذکور نشان می‌دهد از بین سه پارامتر عمق آبشستگی نسبی، عرض نسبی چاله آبشستگی، کشیدگی نسبی چاله آبشستگی، از نظر کاهش میزان پارامتر در باندال‌لایک نسبت به آبشکن نفوذناپذیر، پارامتر عمق آبشستگی نسبی و از نظر افزایش میزان پارامتر در باندال‌لایک نسبت به آبشکن نفوذپذیر پارامتر کشیدگی چاله آبشستگی از حساسیت بیشتری برخوردار است. این نکته برداشت می‌شود که قسمت نفوذپذیر تاثیر زیادی در کاهش عمق آبشستگی نسبت به آبشکن باندال‌لایک و قسمت نفوذناپذیر اثر قابل توجهی در افزایش کشیدگی باندال‌لایک نسبت به آبشکن نفوذپذیر دارد.



شکل۱۳- کشیدگی نسبی چاله آبشستگی برای سه نوع آبشکن نفوذناپذیر، باندال‌لایک و نفوذپذیر



شکل۱٤- کشیدگی نسبی چاله آبشستگی در سه زاویه۹۰درجه،۱۲۰درجه و ٦۰درجه

جدول٤-مقایسه کشیدگی نسبی چاله آبشستگی در سه نوع آبشکن و در سه زاویه ٦۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه

زاویه نسبت به ساحل (درجه)	۶۰	۹۰	۱۲۰
(L/y) در آبشکن نفوذناپذیر	۳	۳/۲۵	۲/۹۱
(L/y) در آبشکن باندال‌لایک	۲/۵۶	۱/۵۶	۲/۱۹
(L/y) در آبشکن نفوذپذیر	۱/۱۲	۰/۷۵	۰/۹۴

جدول۵- ابعاد نسبی چاله آبشستگی در شرایط مختلف

۱ زاویه قرارگیری نسبت به ساحل	۲ پارامترهای چاله آبشستگی	۳ آبشکن باندال‌لایک	۴ میزان کاهش در باندال‌لایک نسبت به آبشکن نفوذناپذیر (درصد)	۵ میزان افزایش در باندال‌لایک نسبت به آبشکن نفوذپذیر (درصد)
دافع(۶۰ درجه)	$\frac{l}{y}$	۲/۵۶	۱۴	۵۶
	$\frac{w}{y}$	۱/۲۵	۳۶	۱۷
	$\frac{ds}{y}$	۰/۲۰	۶۰	۴۰
قائم(۹۰ درجه)	$\frac{l}{y}$	۱/۵۶	۵۲	۵۱
	$\frac{w}{y}$	۱/۱۹	۳۰	۲۱
	$\frac{ds}{y}$	۰/۲۱	۶۹	۴۲
جاذب(۱۲۰ درجه)	$\frac{l}{y}$	۲/۱۹	۲۴	۵۷
	$\frac{w}{y}$	۱/۲۲	۳۴	۱۸
	$\frac{ds}{y}$	۰/۲۷	۵۲	۴۰

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر اثر زاویه قرارگیری سازه بر ابعاد هندسی چاله آبشستگی در سه نوع آبشکن نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندال‌لایک در شرایط مستغرق مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش‌ها عدد فرود برابر ۰/۲۴، عمق آب ۱۶ سانتی‌متر، ارتفاع سازه ۱۲ سانتی‌متر، زاویه قرارگیری سازه نسبت به ساحل ۶۰درجه،۹۰ درجه و ۱۲۰ درجه می‌باشد. بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که:

میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی در آبشکن نفوذناپذیر در زاویه ۹۰ درجه و در آبشکن باندال‌لایک و نفوذپذیر این پارامتر در زاویه ۱۲۰ درجه اتفاق می‌افتد.

میزان عمق آبشستگی نسبی در آبشکن باندال‌لایک در زاویه ۶۰ درجه، ۶۰ درصد در زاویه ۹۰ درجه ۶۹/۱۲ درصد و در زاویه ۱۲۰ درجه ۵۲/۶ درصد کمتر از آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد.

قسمت نفوذپذیر باندال‌لایک تاثیر زیادی در کاهش ماکزیمم عمق آبشستگی نسبی و عرض نسبی چاله آبشستگی دارد.

در هر سه نوع آبشکن حداکثر عرض نسبی در زاویه ۶۰ درجه و کمترین عرض نسبی در زاویه ۹۰ درجه اتفاق می‌افتد.

میزان عرض نسبی چاله آبشستگی در آبشکن باندال‌لایک در زاویه ۶۰ درجه، ۳۶/۵۵ درصد در زاویه ۹۰ درجه ۳۰/۸ درصد و در زاویه ۱۲۰ درجه ۳۴/۷۶ درصد کمتر از آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد.

بیشترین کشیدگی چاله آبشستگی در آبشکن نفوذناپذیر در زاویه ۹۰ درجه و در آبشکن باندال‌لایک و نفوذپذیر در زاویه ۶۰ درجه اتفاق می‌افتد.

میزان کشیدگی نسبی چاله آبشستگی در آبشکن باندال لایک در زاویه ۶۰ درجه ۱۴/۶۷ درصد، در زاویه ۹۰ درجه ۵۲ درصد و در زاویه ۱۲۰ درجه ۲۴/۷۴ درصد کمتر از آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد.

قسمت نفوذناپذیر باندال‌لایک اثر قابل توجهی در افزایش کشیدگی نسبی چاله آبشستگی دارد.

تشکر و قدردانی

هزینه های این تحقیق از محل پژوهانه نویسنده دوم تامین شده است. بدین وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر می‌گردد.

منابع

۱- بهرامی یاراحمدی، م.، شفاعی بجستان، م.، دوستکام، م. و س. زرگرزاده. ۱۳۹۳. تاثیر سرریزهای گوه‌ای شکل با طولهای مختلف بر وضعیت فرسایش و رسوبگذاری در قوسها: هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی.

۲- حسین‌زاده تبریزی، ح.، واقفی، م. و م. قدسیان. ۱۳۹۳. تاثیر عدد فرود جریان بر الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن‌های سری در مسیر مستقیم در حالت مستغرق و غیر مستغرق: مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، ۱۴(۳):۸۲-۷۱.

۳- ساجدی سابق، م .، حسنی، خ. و م. حبیبی . ۱۳۷۵. بررسی آبشستگی موضعی دماغه آب‌شکن با تغییر زاویه قرارگیری: چهارمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- شجاعیان، ز .۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی اثر هندسه آبشکن نوع باندال لایک برروی الگوی فرسایش و جریان در شرایط غیر مستغرق: پایان‌نامه دکتری، رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز.

۵- علیزاده ارمکی، ح.، واقفی، م. و م. قدسیان. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی هندسه چاله آبشستگی و نرخ آبشستگی حول آبشکن سرسپری جاذب و دافع: دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان.

۶- کرمان‌نژاد، ج.، فتحی‌مقدم، م.، دهقانی، ا.ا.، و م. محمودیان.۱۳۹۰. بررسی رابطه تخلخل با حداکثر عمق آبشستگی آبشکن‌های L شکل نفوذپذیر با زبانه به سمت بالادست و پایین‌دست در شرایط آب زلال نشریه آب وخاک (علوم و صنایع کشاورزی): ۲۵(۲): ۳۱۴-۳۰۵.

7- Jarrahzade,F. and, M. Shafai Bejestan. 2011. Comparison of maximum scour depth in bank line and nose of submerged weirs in a sharp bend. Scientific Research and Essays, 6(5): 1071-1076.

8- Johnson,P.A.,Hey, R.D.,Tessier, M. and, D.L. Rosgen. 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. Journal of Hydraulic Engineering, 127(9): 772-778.

9- Johnson,P.A.,Hey, R.D.,Brown,E.R., and, D.L. Rosgen. 2002. Stream restoration in the vicinity of bridges. Journal of the American Water Resources Association, 38(1): 55-67.

10- Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., and, F. D., Jr shields. 2002. Local scour associated with angled spur dikes, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 128(12): 1087-1093.

11- Rahman,M.M., Nakagawa, H., Khaleduzzaman, A. T.M., Ishigaki, T. and Y. Muto. 2004. On the formation of stable river course. Annual of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No.47B,pp.601-616.

12- Teraguchi, H.,Nakagawa, H.,Kawaike, K., Baba, Y. and, H. Zhang. 2011: Alternative method for river training works: Bandal-like structures, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 55: 151-156.

13- Zhang, H., Nakagawa H., Baba, Y., Kawaike, K., Rahman, M.M. and, M.N. Uddin. 2011. Hydraulic and morphological consequences of bank protection measures along the Jamuna river, Bangladesh: Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No. 54B.

14- Zhang, H., Nakagawa H., Baba, Y., Kawaike, K. and, H. Teraguchi. 2010. Three-dimentional flow around bandal-like structures: Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 54: 175-180.

15- Zhang, H., Nakagawa, H., Ishigaki, T., Muto, Y. and, A.T.M. Khaleduzzaman .2005. Flow and bed deformation around a series of impermeable and permeable spur dykes: The International Conference on Monitoring, Prediction and Mitigation of Water-Related Disasters (MPMD), 12-15 Jan, Kyoto, pp.197-202.