

مقاله علمی-پژوهشی

## تأثیر ابعاد بازشدگی‌ها بر آبستگي پيرامون آبشکن نفوذپذير در زوایای مختلف

مریم حاجی آبادی<sup>۱</sup>، یوسف رضانی<sup>۲\*</sup>، حسین خزیمه نژاد<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۷

### چکیده

آبشکن، سازه‌ای است که به منظور جلوگیری از فرسایش کناره‌های رودخانه و جلوگیری از ورود امواج و رسوب به مسیر رودخانه طراحی می‌شود. ارتفاع، طول، زاویه و نفوذپذیری آبشکن از جمله عوامل تأثیرگذار بر آبستگي پيرامون آبشکن می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر ابعاد بازشدگی‌ها بر آبستگي آبشکن نفوذپذير در زوایای مختلف در حالت غیر مستغرق می‌باشد. آزمایش‌های این پژوهش در فلووم مستطیلی به طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. برای انجام آزمایش‌ها، آبشکن‌هایی از جنس ورق پلکسی‌گلاس به ضخامت ۲ میلی‌متر و ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر (برای ایجاد شرایط غیر مستغرق) و طول ۷ سانتی‌متر (برابر با ۲۳ درصد عرض فلووم) استفاده شد. کلیه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال ( $\frac{U}{U_c} = 0.95$ ) انجام شد. در تحقیق حاضر، آبشکن‌هایی با چهار نفوذپذیری ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد در چهار  $S/L_s$  (نسبت ابعاد بازشدگی آبشکن به طول آبشکن) برابر با ۰/۱۴، ۰/۲۵، ۰/۳۳ و ۰/۰۵ با پنج زاویه قرارگیری ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه نسبت به افق ساحل بالادست فلووم مورد استفاده قرار گرفتند. در همه زوایا با افزایش درصد نفوذپذیری و افزایش  $S/L_s$ ، عمق آبستگي کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج و در بازه اعداد مورد مطالعه در این پژوهش، استفاده از آبشکن و نصب آن در زاویه ۷۰ درجه با نفوذپذیری ۴۰ درصد و  $S/L_s$  برابر ۰/۰۵، سبب کاهش ۷۸ درصدی عمق آبستگي دماغه آبشکن نسبت به حالت شاهد (آبشکن نفوذناپذير ۹۰ درجه) گردید. همچنین، کمترین عمق آبستگي دماغه آبشکن در زاویه نصب ۷۰ درجه و در مراحل بعدی در زوایای ۱۱۰ و ۹۰ درجه مشاهده شد.

**واژه‌های کلیدی:** آبشکن نفوذپذير، آبستگي، آب زلال، بستر رسوبي، زاویه

### مقدمه

نفوذپذير به دلیل امکان عبور جریان آب از میان آن‌ها، سبب کاهش انتقال رسوبات بستر، ته نشینی رسوبات معلق درشت دانه و جذب مواد شناور می‌گردد. آن‌ها معمولاً باعث کاهش سرعت جریان و پراکندگی انرژی می‌شوند، که می‌تواند منجر به کاهش آبستگي در پای سازه شود (حاجی کندی و همکاران، ۱۳۹۰). آبشکن‌های نفوذپذير، با داشتن بازشدگی‌ها یا منافذی در ساختار خود، اجازه می‌دهند که بخشی از جریان آب از داخل سازه عبور کند. هدف از این طراحی، کاهش شدت جریان و فشار بر پای آبشکن و در نتیجه کاهش میزان آبستگي<sup>۴</sup> است (Bakker et al., 2015). با این وجود، تأثیر این بازشدگی‌ها بر میزان و الگوی آبستگي کاملاً وابسته به پارامترهایی مانند ابعاد بازشدگی‌ها و زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به جریان آب است. ابعاد بازشدگی‌ها می‌تواند بر میزان جریانی که از درون آبشکن عبور می‌کند و در نتیجه بر الگوی جریان در پشت آبشکن و میزان فرسایش تأثیرگذار باشد. در صورتی که بازشدگی‌ها بیش از حد بزرگ باشند، جریان عبوری می‌تواند باعث ایجاد جریان‌های تند در پشت

پدیده آبستگي یکی از موارد مهم در علم هیدرولیک و مهندسی رودخانه می‌باشد (رضانی و همکاران، ۱۳۹۱). به دلیل اهمیت حفاظت از سواحل رودخانه‌ها در برابر پدیده فرسایش، پیدا کردن روش‌ها و سازه‌ها برای جلوگیری از این پدیده همواره مورد توجه بوده است (رضانی و همکاران، ۱۳۹۳ الف). آبشکن‌های باز یا نفوذپذير از جمله سازه‌های حفاظتی هستند که برای دور شدن جریان از سواحل رودخانه می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. آبشکن‌های باز با کاهش سرعت جریان آب در میدان آبشکن، باعث دور شدن جریان فرسایشی از محدوده آبشکن می‌شوند و شرایط لازم برای حفاظت از سواحل رودخانه فراهم می‌گردد (دبیری و همکاران، ۱۳۹۷). آبشکن‌های

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه

بیرجند، بیرجند، ایران

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

\*- ایمیل نویسنده مسئول: [y.ramezani@birjand.ac.ir](mailto:y.ramezani@birjand.ac.ir) (Email: y.ramezani@birjand.ac.ir)

غیرمستغرق در کانال پیچان رودی پرداختند. نتایج این پژوهش بیانگر این است که با افزایش طول آبشکن‌ها، میزان عقب‌نشینی کناره کاهش یافته است. به طوری که برای طول‌های ۹، ۱۲ و ۱۵ سانتی متر به ترتیب حدود ۷/۳۱، ۴/۳۵ و ۰/۵۸ درصد، میانگین عقب‌نشینی کناره نسبت به حالت بدون آبشکن کاهش یافته است. در این پژوهش از سه معیار،  $RMSE$ ،  $R^2$  و  $MAE$  به منظور مقایسه داده‌های حاصل از رابطه بدست آمده و داده‌های آزمایشگاهی استفاده شد که مقدار این شاخص‌ها به ترتیب برابر ۰/۹۲۴، ۰/۱۲۷ و ۰/۰۹۷ برآورد گردید.

باجلوند و همکاران (۱۴۰۱) به مطالعه آزمایشگاهی تأثیر زاویه آبشکن چوگانی بر آبشستگی و مقایسه آن با آبشکن ال شکل پرداختند. آزمایش‌ها بر روی سری آبشکن‌های چوگانی و L شکل با سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه (نسبت به ساحل پایین دست کانال) درون فلومی با طول ۱۰/۵ متر، عرض و ارتفاع ۰/۵ متر در شرایط آب زلال انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد پارامترهای حفره آبشستگی، طول و ضخامت پشته رسوبی با افزایش زاویه در آبشکن‌های چوگانی کمتر از L شکل می‌باشد. حداکثر عمق آبشستگی، میانگین مساحت و حجم آبشستگی با افزایش زاویه از ۳۰ به ۹۰ درجه به ترتیب در آبشکن‌های L شکل ۴۱/۴، ۴۱ و ۷۵/۵ درصد و در آبشکن‌های چوگانی ۳۳/۸، ۳۹ و ۷۳ درصد افزایش می‌یابد.

چراغچی و شفاعی بجستان (۱۴۰۱)، در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر نفوذپذیری سازه ترکیبی آبشکن - صفحه مثلثی بر نحوه رسوب‌گذاری و فرسایش بستر پرداختند. نتایج نشان داد حداکثر و حداقل میزان فرسایش و رسوب‌گذاری را به ترتیب نفوذپذیری‌های صفر و ۵۰ درصد داشته‌اند.

تیموری یگانه (۱۴۰۱) در تحقیقی الگوی جریان پیرامون آبشکن با زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه را با استفاده از نرم افزار دو بعدی SRH-2D شبیه سازی نمود. نتایج نشان داد در آبشکن با زاویه ۴۵ درجه، طول ناحیه چرخشی نسبت به زاویه قرارگیری ۹۰ و ۱۳۵ درجه، به ترتیب حدود ۲ و ۸ برابر کمتر خواهد شد. همچنین تنش برشی در نواحی نزدیک به کف در حالت آبشکن ۴۵ درجه کمترین مقدار را دارد.

چوفو و همکاران، به بررسی الگوی جریان، فرسایش و رسوب در اطراف آبشکن‌های مختلف تحت شرایط مختلف هیدرولیکی و هندسی پرداختند. آبشکن‌هایی که از بزرگ به کوچک در زاویه ۴۵ درجه چیده شده بودند، عمق آبشستگی را تا ۵۵ درصد کاهش دادند و آبشکن‌های از کوچک به بزرگ در زاویه ۱۳۵ درجه، عمق آبشستگی را تا ۷۲ درصد کاهش دادند (Choufu et al., 2019).

پاگیلارا و همکاران، به مطالعه الگوهای آبشستگی و جریان در اطراف آبشکن‌های مثلثی شکل پرداختند. با توجه به نتایج، حداکثر عمق و حجم حفره آبشستگی در آبشکن‌های مثلثی کمتر از نمونه‌های مستطیلی آن‌ها بود. از نظر کمی، به طور متوسط، حداکثر عمق و

آبشکن شود که خود منجر به افزایش آبشستگی می‌شود. از طرف دیگر، بازشدگی‌های بسیار کوچک ممکن است تأثیر کمی بر کاهش آبشستگی داشته باشند و عملکرد کلی آبشکن را تحت تأثیر قرار ندهند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۶). زاویه قرارگیری آبشکن نیز یکی از پارامترهای مهم در طراحی آن است. زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به جهت جریان آب، بر نحوه برخورد جریان با سازه و توزیع فشار در اطراف آن تأثیر می‌گذارد. با تغییر زاویه، الگوی جریان آب و به تبع آن، محل و شدت آبشستگی در پای آبشکن تغییر می‌کند. بنابراین، پیدا کردن زاویه بهینه با توجه به ابعاد بازشدگی‌ها می‌تواند به کاهش آبشستگی و افزایش کارایی سازه منجر شود (شاکر و همکاران، ۱۳۹۴).

ارمکی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن سرسپری مستغرق، جاذب و دافع در مسیر مستقیم پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد مرکز گردابه‌ای ساعتگرد تشکیل شده در پایین دست آبشکن دافع نسبت به آبشکن جاذب به محل آبشکن نزدیک‌تر است. کشیدگی حفره آبشستگی در آبشکن جاذب بیشتر از دافع بوده و به ترتیب ۵/۸ و ۳/۶ برابر طول موثر آبشکن می‌باشد.

بیاره پور و همکاران (۱۳۹۳)، به مقایسه آبشستگی پیرامون سری آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر پرداختند. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و با آبشکن‌های نفوذپذیر درون فلومی به عرض ۰/۵۶ متر، طول ۷/۳ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش درصد نفوذپذیری، حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن اول به میزان ۷۵ درصد کاهش پیدا نمود.

اهدایی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه و نفوذپذیری تک آبشکن بر روی ابعاد چاله آبشستگی در شرایط غیر مستغرق پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش نفوذپذیری به ۵۰ درصد، آبشستگی به میزان زیادی کاهش می‌یابد. برای زاویه ۱۲۰ درجه، عمق، طول و عرض آبشستگی نسبی به ترتیب ۶۴/۱، ۷۲/۱ و ۳۵/۴ درصد کاهش یافت. همچنین در نفوذپذیری ۵۰ درصد، بیشترین آبشستگی مربوط به آبشکن با زاویه ۶۰ درجه بود که متوسط عمق، طول و عرض آبشستگی نسبی برای این حالت به ترتیب برابر با ۱۹/۰، ۷/۰ و ۱/۲ تعیین گردید.

دبیری و کاشفی پور (۱۳۹۸) به بررسی اثر زاویه قرارگیری سری آبشکن‌های نفوذپذیر در قوس ۹۰ درجه بر روی ابعاد چاله آبشستگی پرداختند. نتایج نشان داد که حداکثر عمق و عرض چاله آبشستگی مربوط به حالت جاذب (۱۲۰ درجه) و حداقل آن مربوط به حالت دافع (۶۰ درجه) می‌باشد. اما حداکثر طول چاله آبشستگی مربوط به حالت دافع و حداقل طول چاله آبشستگی در حالت جاذب رخ داد.

اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی آزمایشگاهی اثر طول سری آبشکن‌های T شکل بر کنترل فرسایش کناره در شرایط

فلوم از جنس پلکسی گلاس شفاف به ضخامت ۱۰ میلی‌متر می‌باشد که سبب می‌شود جریان آب داخل فلوم کاملاً قابل رویت باشد. در انتهای فلوم برای تنظیم عمق جریان دریچه‌ای قرار گرفته و همچنین دبی ورودی فلوم توسط دبی سنخ الکترومغناطیس اندازه‌گیری و توسط شیر ورودی تنظیم می‌شود. جریان آب داخل فلوم کاملاً چرخشی بوده، به گونه‌ای که آب پس از خروج از فلوم وارد یک مخزن شده سپس توسط پمپ از مخزن مجدداً به ابتدای فلوم پمپاژ می‌شود. در انتهای فلوم یک مخزن آرام کننده به ابعاد ۵۰ سانتی‌متر به منظور آرام کردن جریان قرار دارد. برای انجام آزمایش‌های این پژوهش یک بستر رسوبی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و طول ۲/۲ متر در قسمت مرکزی فلوم تعبیه شد. به منظور هم‌سطح کردن بستر فلوم با بستر رسوبی، دو مقطع کاذب از جنس پلکسی گلاس با ابعاد طولی ۳/۹ متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر در دو طرف بستر رسوبی قرار گرفت. در شکل (۱) شماتیک پلان کانال آزمایشگاهی مورد مطالعه نشان داده شده است. در شکل (۲) نیز شماتیک مقطع عرضی کانال آزمایشگاهی مورد مطالعه نشان داده شده است. برای ایجاد بستر رسوبی از ماسه با دانه بندی یکنواخت که دارای قطر متوسط ۱ میلی‌متر می‌باشد استفاده شد. در شکل (۳) منحنی دانه‌بندی رسوب مورد استفاده نشان داده شده است. درجه یکنواختی ذرات یک نمونه رسوبی به وسیله انحراف معیار هندسی ( $\sigma_g$ ) مشخص می‌گردد (Sadeghi et al., 2018). رابطه  $\sigma_g$  به صورت زیر است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} \quad (1)$$

رسوباتی یکنواخت در نظر گرفته خواهند شد که انحراف معیار هندسی آن‌ها کمتر از ۱/۴ باشد (Dey and Barbhuiya., 2005). انحراف معیار هندسی در این تحقیق  $\sigma_g = 1/27$  به دست آمد که نشان دهنده یکنواختی رسوبات می‌باشد.

آزمایش‌ها در این تحقیق با سه زاویه نصب ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه نسبت به افق ساحل بالادست فلوم و با ۴ درصد نفوذپذیری ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد و چهار نسبت  $S/L_s$  برابر ۰/۱۴، ۰/۲۵، ۰/۳۳ و ۰/۵ انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها آبشکن‌هایی از جنس ورق پلکسی گلاس به طول ۷ سانتی‌متر (برابر با ۰/۲۳ عرض فلوم)، ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر (شرایط غیر مستغرق) و به ضخامت ۲ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. محل قرارگیری آبشکن در قسمت مرکزی بستر رسوبی بود. به طوری که فاصله آبشکن از دو طرف بستر رسوبی به یک اندازه بوده است. در شکل (۴) شماتیکی از آبشکن مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده است.

حجم حفره آبشستگی در اولی به ترتیب ۴۴ و ۷۰ درصد کمتر از دومی بود. بر اساس الگوهای جریان تحلیل شده، توصیه می‌شود که فاصله بین آبشکن‌های مثالی نباید بیش از ۵/۵ برابر طول موثر سازه باشد (Pagliara et al., 2020).

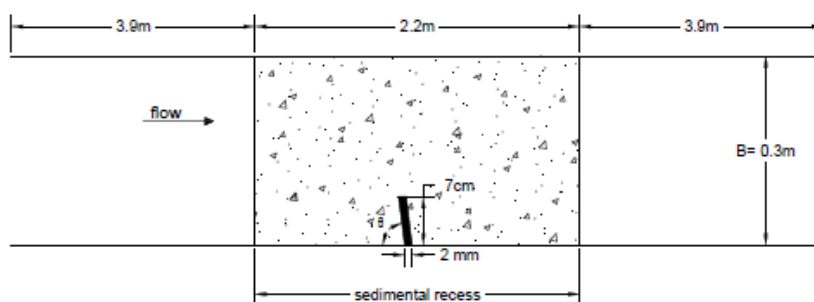
پندی و همکاران، تغییرات آبشستگی اطراف آبشکن مستقیم و پارامترهایی که بر روی کارایی آبشکن موثر است را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات عمق آبشستگی در دماغه آبشکن، ۸ تا ۳۰ درصد بیشتر از پیرامون آبشکن و نقطه اتصال آبشکن به ساحل است (Pandy et al., 2021).

فرشاد و همکاران، حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن‌های نفوذپذیر و زاویه‌دار تحت هیدروگراف‌هایی با مدت زمان‌های مختلف را بررسی کردند. آزمایش‌ها در یک کانال مستطیلی به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۷۶ متر و عمق ۰/۶ متر انجام شد. نتایج نشان داد که نفوذپذیری آبشکن تأثیر زیادی در کاهش پدیده آبشستگی در مقایسه با آبشکن‌های نفوذناپذیر دارد و تأثیر مطلوب‌تر آن زمانی است که جهت زاویه نیز مطلوب باشد (Farshad et al., 2022).

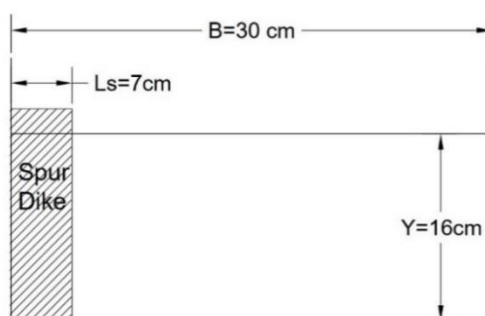
به دلیل اهمیت حفاظت از سواحل رودخانه‌ها در برابر پدیده فرسایش و آبشستگی، پیدا کردن روش‌ها و سازه‌ها برای جلوگیری از این پدیده همواره مورد توجه بوده است. آبشکن‌های باز یا نفوذپذیر از جمله سازه‌های حفاظتی هستند که برای دور شدن جریان از سواحل رودخانه می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. آبشکن‌های باز با کاهش سرعت جریان آب در میدان آبشکن، باعث دور شدن جریان فرسایشی از محدوده آبشکن می‌شوند و شرایط لازم برای حفاظت از سواحل رودخانه فراهم می‌گردد. یکی از بهترین راه‌های کاهش آهنگ فرسایش ساحل رودخانه، استفاده از سازه آبشکن می‌باشد. نکته مهم در استفاده از سازه آبشکن، آبشستگی دماغه آن می‌باشد. می‌توان با نفوذپذیر کردن آبشکن، آبشستگی دماغه آن را کاهش داده و در عین حال نقش حفاظتی آبشکن جهت کنترل فرسایش ساحل رودخانه را نیز حفظ نمود. تاکنون پژوهش‌های متنوعی در زمینه پدیده آبشستگی اطراف آبشکن نفوذپذیر و زاویه قرارگیری آن صورت گرفته است ولی تاکنون تحقیقی در زمینه تأثیر نسبت ابعاد بازشدگی‌ها در آبشکن نفوذپذیر در زوایای مختلف صورت نگرفته است. بنابراین، هدف این تحقیق بررسی تأثیر ابعاد بازشدگی‌های آبشکن در نفوذپذیری‌ها و زوایای مختلف قرارگیری بر آبشستگی پیرامون آن در حالت غیرمستغرق می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

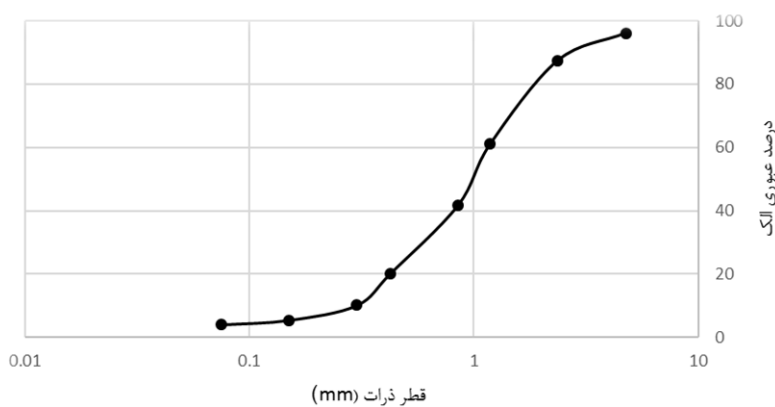
آزمایش‌های این پژوهش در فلومی به طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام پذیرفت. دیواره



شکل ۱- پلان کانال آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر و عرض  $B = 0.3$  m و آبشکن به ضخامت ۲ mm و طول  $L_s = 7$  cm



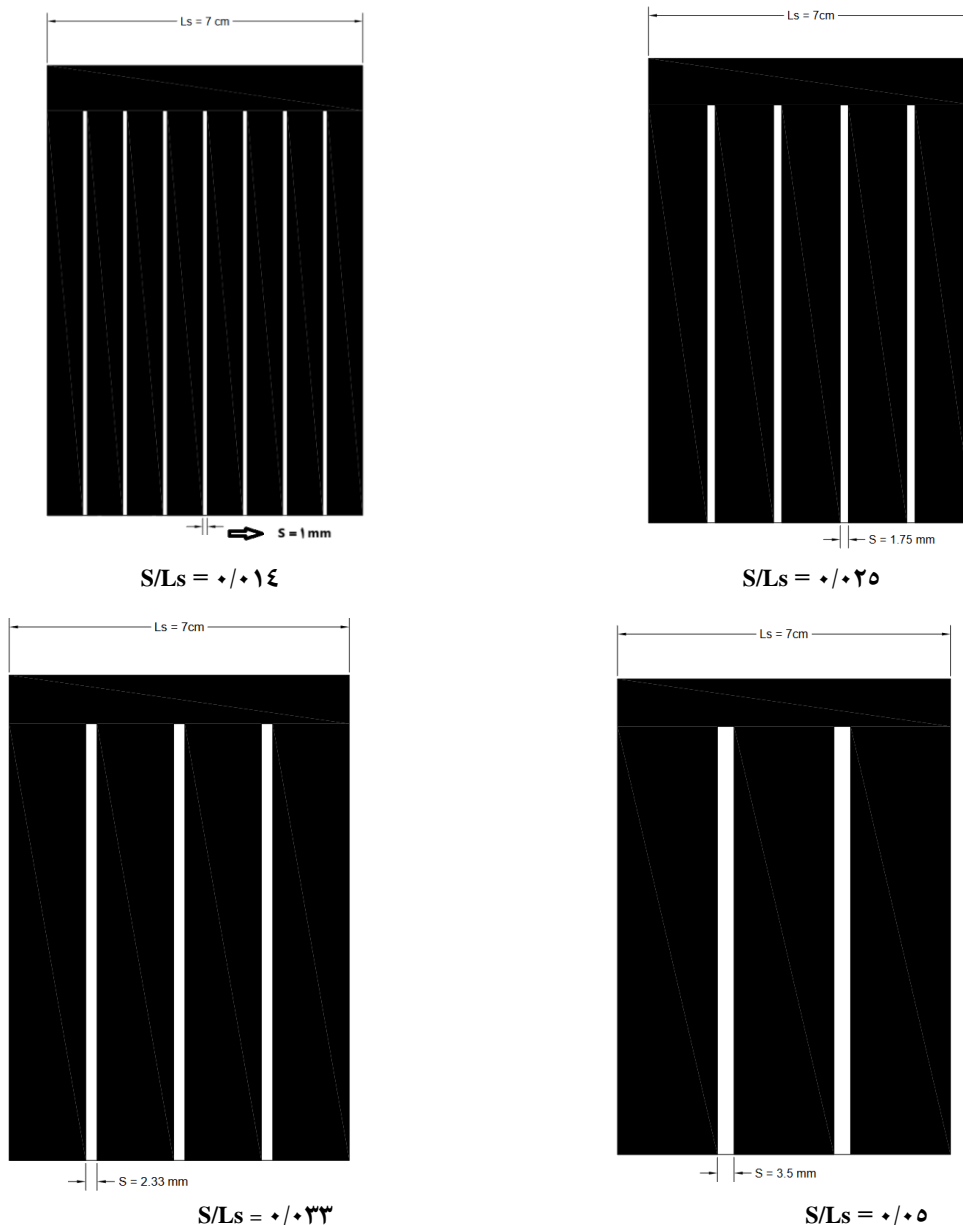
شکل ۲- مقطع عرضی کانال آزمایشگاهی با عرض  $B = 30$  cm، طول آبشکن  $L_s = 7$  cm و عمق جریان  $Y = 16$  cm



شکل ۳- منحنی دانه‌بندی ذرات رسوبی

گردید و در نتیجه انتهای کانال کاملاً بالا کشیده شد. سپس فلوم به آرامی با آب پر شده و دبی مورد نظر تنظیم گردید. در دبی  $12/54$  لیتر بر ثانیه و عمق جریان  $15/2$  سانتی‌متر، آستانه حرکت رسوبات مشاهده شد. پس با توجه به شرایط انجام آزمایشات ( $U/U_c = 0.95$ )، عمق مورد نظر  $16$  سانتی‌متر تعیین گردید.

آزمایش‌های این تحقیق در شرایط آب زلال ( $U/U_c = 0.95$ ) صورت گرفته است. شرایط آب زلال به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن، شرایط جریان در کانال کمتر از شرایط آستانه حرکت رسوبات باشد و حرکت رسوبات از بالادست محل آبستگي وجود ندارد (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۳ ب). به منظور انجام آزمایش آستانه حرکت رسوبات، ابتدا بستر رسوبی بدون نصب آبشکن، کاملاً مسطح

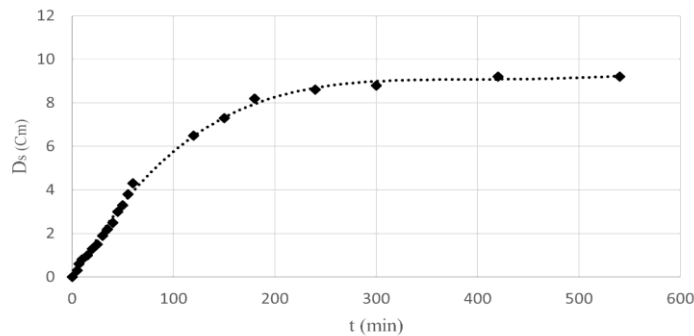


شکل ۴- شماتیکی از آبشکن نفوذپذیر در نسبت‌های مختلف  $S/L_s$  طول آبشکن و  $S$  ابعاد بازشدگی آبشکن در نفوذپذیری ۱۰ درصد

شد تا عمق آب مورد نظر (۱۶ سانتی‌متر) حاصل شود. ثابت شدن عمق جریان به عنوان لحظه شروع آزمایش در نظر گرفته شده است. مدت آزمایش‌ها تا زمانی بود که عمق آبشستگی تقریباً به حالت تعادل رسیده باشد. کومار و همکاران، زمان تعادل را طوری در نظر گرفتند که پس از ۳ ساعت عمق آبشستگی کمتر از ۱ میلی‌متر تغییر کند (Kumar et al., 1999). ییاره پور و کاشفی پور (۱۳۹۳) طی آزمایشی توپوگرافی بستر با دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه را در بازه زمانی ۱۴ ساعت بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد ۹۰ درصد عمق آبشستگی در ۱۵۰ دقیقه اول رخ می‌دهد. در پژوهش حاضر نیز آزمایش بلند مدتی جهت بررسی تغییرات عمق آبشستگی با استفاده از

برای شروع هر آزمایش پس از نصب آبشکن، سطح رسوبات بستر با ماله پلاستیکی تسطیح گردیده و سپس برای کنترل تراز بودن آن از متر لیزری با دقت  $\pm 1$  میلی‌متر استفاده شد. رقوم بستر تراز شده در تمامی آزمایش‌ها یکسان در نظر گرفته شد. در ابتدا دریچه انتهایی کاملاً بالا آورده شد. برای جلوگیری از شسته شدن ناگهانی رسوبات بستر به یک عمق پایاب بر روی بستر رسوبی نیاز می‌باشد. به همین منظور جریانی با دبی کم توسط یک شیلنگ آب در فلوم ایجاد شد. پس از ایجاد عمق پایاب، پمپ روشن و شیر تنظیم دبی به آرامی باز شده تا دبی مورد نظر تنظیم گردید. سپس جهت تنظیم عمق آب درون فلوم، دریچه نصب شده در انتهای فلوم به آرامی پایین آورده

تعیین شده، شیر تنظیم دبی به آرامی بسته شده و دریچه انتهایی فلوم به آرامی پایین آورده شد تا فلوم تخلیه و آب درون مقطع کاملاً زهکشی شود. پس از انجام آزمایش، توپوگرافی بستر پیرامون آبشکن به وسیله متر لیزری برداشت و توپوگرافی حاصل در نرم افزار سورفر ترسیم شد.



شکل ۵- نمودار تغییرات عمق آبشستگی (سانتی‌متر) بر حسب زمان (دقیقه) در آزمایش بلند مدت

تمامی آزمایش‌های این پژوهش عدد رینولدز ( $Re$ ) برابر  $20225$  می‌باشد که بالاتر از عدد رینولدز جریان متلاطم ( $Re > 4000$ ) بوده و به همین علت از تأثیر آن صرف نظر گردیده است.  $\frac{B}{L_s}$  نسبت بی بعد عرض کانال به طول آبشکن،  $\frac{D_s}{L_s}$  نسبت بی بعد عمق آبشستگی به طول آبشکن،  $\frac{Y}{L_s}$  نسبت بدون بعد عمق جریان به طول آبشکن،  $\frac{S}{L_s}$  نسبت بدون بعد ابعاد بازشدگی آبشکن به طول آبشکن،  $\frac{U}{U_C}$  نسبت بدون بعد سرعت جریان به سرعت بحرانی آستانه حرکت رسوبات و  $P$  درصد نفوذپذیری است که به صورت رابطه (۳) نشان داده شده است.

$$P = \frac{\text{سطح روزنه}}{\text{سطح کل}} \times 100 \quad (4)$$

پارامتر بی بعد  $Fr$  نماد عدد فرود می‌باشد. با توجه به ثابت بودن عمق جریان و دبی جریان در همه آزمایش‌ها، عدد فرود نیز ثابت است.

در تمامی آزمایش‌ها پارامترهای  $S_0$ ،  $B$ ،  $Y$  و  $L_s$  ثابت در نظر گرفته شده است. با توجه به یکنواخت بودن مصالح بستر،  $\frac{\rho_s}{\rho}$  و  $D_{50}$  ثابت در نظر گرفته شده و از تابع فوق حذف می‌گردد. بنابراین، رابطه فوق به صورت رابطه زیر خلاصه می‌گردد:

$$\frac{D_s}{L_s} = f(P, \frac{S}{L_s}, \theta) \quad (5)$$

در مجموع ۸۵ آزمایش با چهار نفوذپذیری ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد در چهار نسبت  $S/L_s$  برابر ۰/۱۴، ۰/۲۵، ۰/۳۳ و ۰/۰۵ و پنج زاویه قرارگیری ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه نسب به افق ساحل کانال بالادست تعریف شده است. پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۱) آمده است.

آبشکن نفوذناپذیر ۹۰ درجه طی زمان ۱۲ ساعت انجام شد. شکل (۵) نمودار تغییرات عمق آبشستگی بر حسب زمان را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار ۸۹ درصد عمق آبشستگی طی ۳ ساعت اول آزمایش رخ داده است. بنابراین مدت زمان ۳ ساعت به عنوان زمان انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. پس از انجام آزمایش طی زمان

### تحلیل ابعادی

پارامترهای متعددی بر آبشستگی اطراف آبشکن‌ها و عملکرد آن‌ها موثر است. برای پیدا کردن عوامل موثر بر آبشستگی دماغه آبشکن، آنالیز ابعادی روی پارامترهای موثر انجام شد. عوامل موثر در این زمینه عبارتند از:

عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض کانال ( $B$ )، شیب کانال ( $S_0$ ).

عوامل مربوط به هندسه آبشکن: طول آبشکن ( $L_s$ )، نفوذپذیری آبشکن ( $P$ )، زاویه اتصال آبشکن به دیواره ( $\theta$ ) و ابعاد بازشدگی آبشکن ( $S$ ).

عوامل مربوط به هیدرولیک جریان: عمق جریان ( $Y$ )، شتاب ثقل ( $g$ )، حداکثر عمق آبشستگی پیرامون دماغه آبشکن ( $D_s$ ) و سرعت متوسط جریان ( $U$ ).

عوامل مربوط به سیال: لزجت دینامیکی سیال ( $\mu$ ) و جرم مخصوص سیال ( $\rho$ ).

عوامل مربوط به رسوبات بستر: قطر متوسط مصالح رسوبی بستر ( $D_{50}$ )، جرم مخصوص مصالح بستر ( $\rho_s$ )، سرعت آستانه حرکت رسوبات ( $U_C$ ).

با توجه به متغیرهای معرفی شده می‌توان نوشت:

$$f(\theta, \rho, \mu, P, B, L_s, Y, D_s, S_0, S, U, D_{50}, \rho_s, U_C, g) = 0 \quad (2)$$

با انتخاب  $\rho$ ،  $L_s$  و  $U$  به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش  $\Pi$  باکینگهام پارامترهای بی بعد به رابطه (۲) تبدیل می‌شود.

$$\frac{D_s}{L_s} = f(\theta, \frac{Y}{L_s}, \frac{U}{U_C}, \frac{B}{L_s}, \frac{S}{L_s}, S_0, Fr, P, Re, \frac{d_{50}}{L_s}, \frac{\rho_s}{\rho}) \quad (3)$$

در رابطه (۲) پارامتر بی بعد  $Re$  نماد عدد رینولدز می‌باشد. در

جدول (۱) پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق

پارامتر	واحد	محدوده تغییرات
دبی جریان (Q)	Lit/sec	۱۲/۵۴
عمق جریان (Y)	cm	۱۶
طول آبشکن (Ls)	cm	۷
زاویه ( $\theta$ )	deg	۱۱۰-۱۰۰-۹۰-۸۰-۷۰
نسبت ابعاد بازشدگی آبشکن به طول آبشکن (S/Ls)	-	۰/۰۱۴-۰/۰۲۵-۰/۰۳۳-۰/۰۵
درصد نفوذپذیری (P)	درصد	۱۰-۲۰-۳۰-۴۰
اندازه ذرات رسوبی ( $D_{50}$ )	mm	۱

## نتایج و بحث

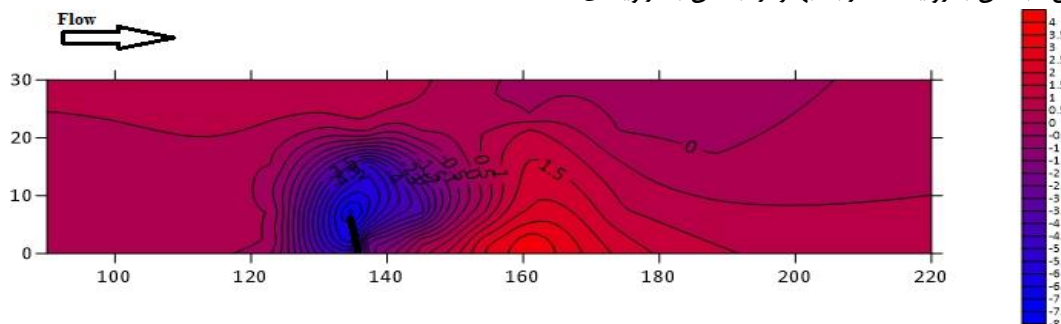
در این بخش، نتایج حاصل از آزمایش‌ها، مورد بررسی قرار گرفته است. پس از اتمام هر آزمایش توپوگرافی بستر برداشت و توسط نرم افزار Surfer خطوط هم‌تراز و توپوگرافی بستر رسم گردید.

### توپوگرافی ایجاد شده پیرامون آبشکن‌ها

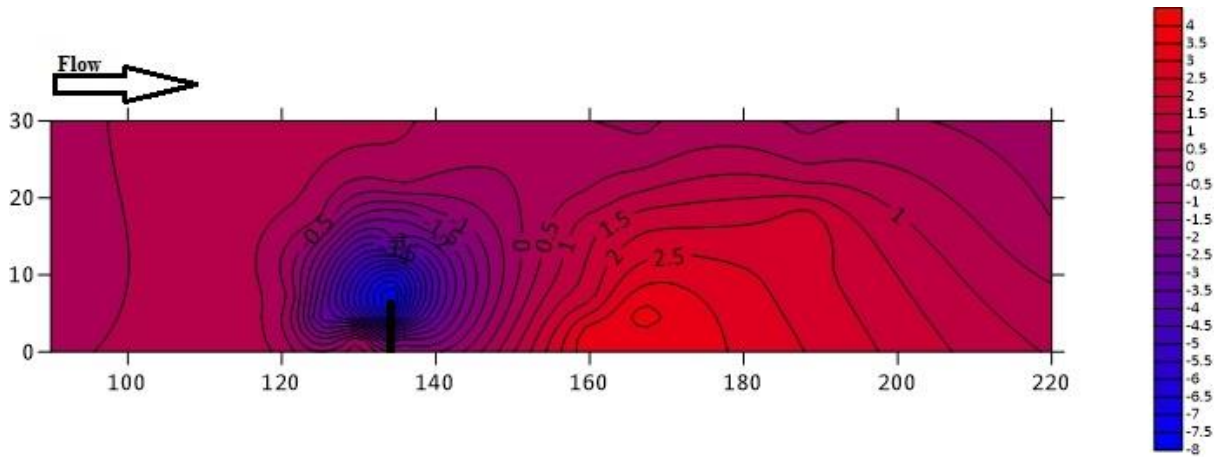
اشکال (۶) تا (۸) خطوط هم‌تراز و توپوگرافی بستر در اطراف آبشکن نفوذناپذیر در سه زاویه ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه را نشان می‌دهند. همان‌گونه مشاهده می‌شود، در آبشکن‌های نفوذناپذیر به دلیل انحراف جریان به سمت دیواره فلووم و افزایش ناگهانی سرعت موضعی در دماغه آبشکن‌ها و به وجود آمدن جریان‌های نعل اسبی، سرعت جریان افزایش یافته و سرعت حرکت رسوبات در دماغه آبشکن زیاد می‌شود. لذا آبشستگی در این نوع آبشکن‌ها بیشتر می‌باشد. واحد اعداد داخل شکل‌ها به سانتی‌متر می‌باشد. توپوگرافی‌های ترسیم شده نشان می‌دهد بیشینه‌ی عمق آبشستگی در زوایای مختلف، در ناحیه دماغه آبشکن رخ داده و رسوبات پس از شسته شدن در قسمت پایین دست جریان، تجمع یافته است. بیشینه آبشستگی برای آبشکن ۷۰ درجه (دافع) ۷/۲ سانتی‌متر، برای آبشکن ۹۰ درجه (قائم) ۸/۲ سانتی‌متر و برای آبشکن ۱۱۰ درجه (جاذب) ۷/۶ سانتی‌متر می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین سه زاویه ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه از نظر کاهش عمق آبشستگی، آبشکن با زاویه ۷۰ درجه بهتر از آبشکن با زاویه‌ی

۹۰ و ۱۱۰ درجه می‌باشد و کمترین عمق آبشستگی را دارد. در آبشکن دافع به دلیل انحراف بیشتر جریان به سمت دیواره مقابل، فرسایش کمتری در راستای طولی و در امتداد دماغه ایجاد شده است. همچنین، با توجه به شکل‌های (۶) و (۷)، بیشترین مقدار توسعه یافتگی حفره آبشستگی و تجمع رسوب برای آبشکن قائم و کمترین مقدار هم برای آبشکن دافع اتفاق افتاده است.

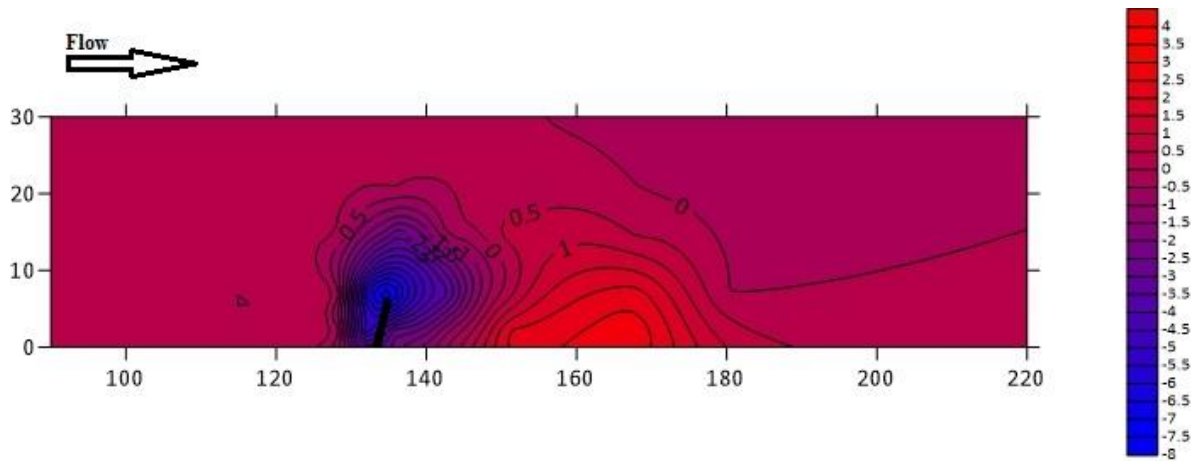
شکل (۹) تا (۱۱) مقایسه توپوگرافی ایجاد شده اطراف آبشکن در زوایای مختلف با  $S/Ls = ۰/۰۱۴$  در  $P = ۴۰\%$  را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های (۹) تا (۱۱)، برای زوایای مختلف آبشکن ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه با  $S/Ls = ۰/۰۱۴$  و در نفوذپذیری ۴۰ درصد، بیشینه عمق آبشستگی در محل دماغه آبشکن به ترتیب ۲/۴، ۲/۶ و ۲/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. این مقادیر در مقایسه با حالت شاهد (آبشکن نفوذناپذیر ۹۰ درجه) برای زوایای ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه به ترتیب ۵/۸، ۵/۶ و ۵/۷ سانتی‌متر کاهش یافته است. مقایسه مقادیر بیان شده و شکل‌های (۶) تا (۱۱) نشان می‌دهد در هر سه حالت دافع (۷۰ درجه)، قائم (۹۰ درجه) و جاذب (۱۱۰ درجه)، هر چه درصد نفوذپذیری افزایش یافته، میزان آبشستگی پیرامون آبشکن کاهش پیدا کرده است. علت آن را می‌توان اینگونه توجیه کرد که با افزایش درصد نفوذپذیری و عبور بخشی از جریان از منافذ آبشکن، انحراف جریان در دماغه و تشکیل جریان نعل اسبی بسیار ضعیف‌تر شده و در نهایت عمق آبشستگی کاهش می‌یابد.



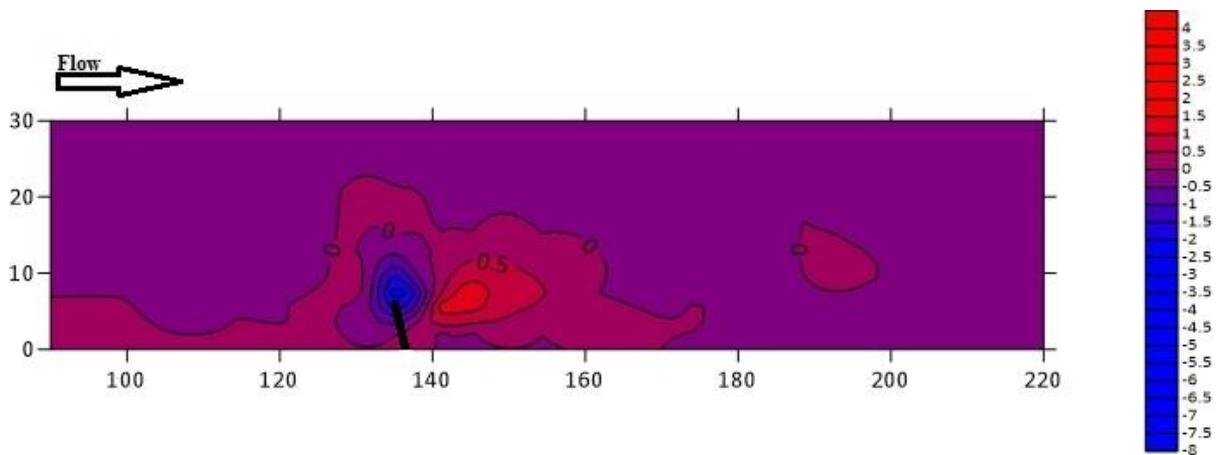
شکل ۶- آبشستگی پیرامون آبشکن با زاویه ۷۰ درجه در حالت نفوذناپذیر



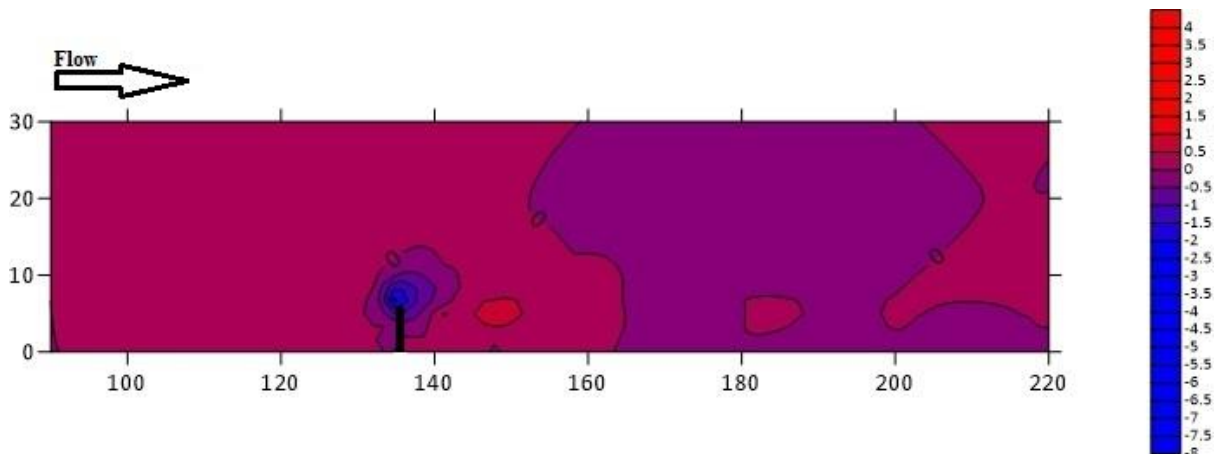
شکل ۷- آبشستگی پیرامون آبشکن با زاویه ۹۰ درجه در حالت نفوذناپذیر



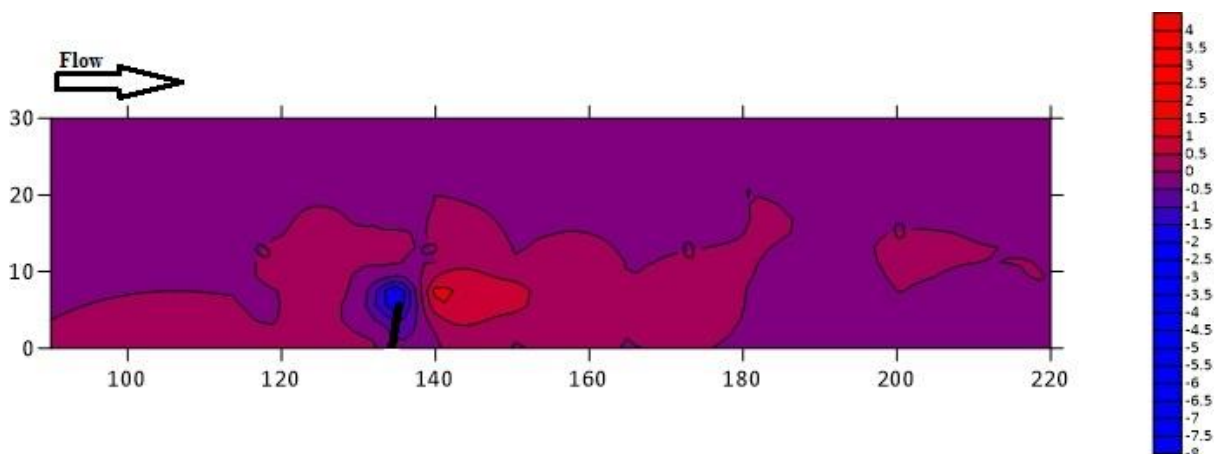
شکل ۸- آبشستگی پیرامون آبشکن با زاویه ۱۱۰ درجه در حالت نفوذناپذیر



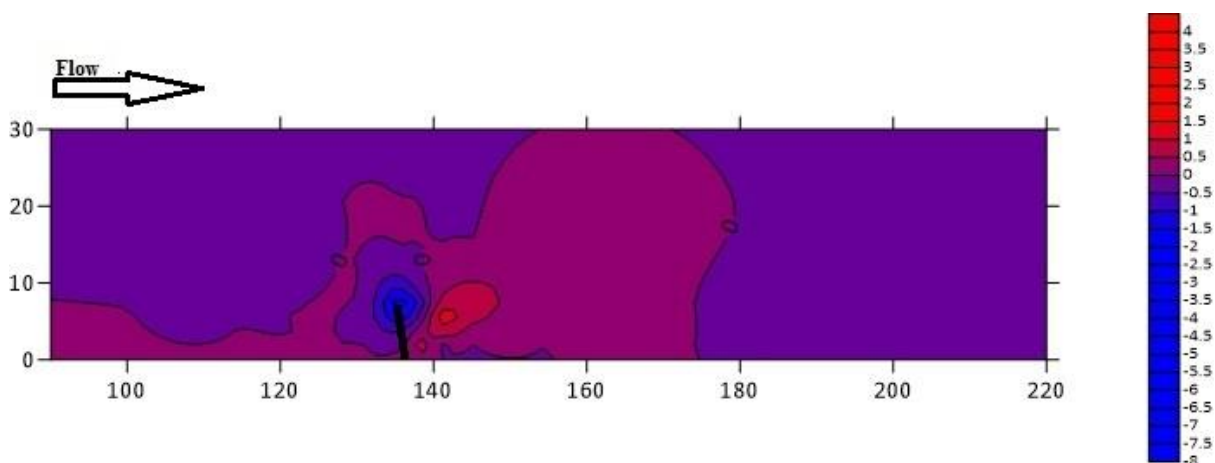
شکل ۹- آبشستگی پیرامون آبشکن ۷۰ درجه با  $P = 40\%$  و  $S/Ls = 14\%$



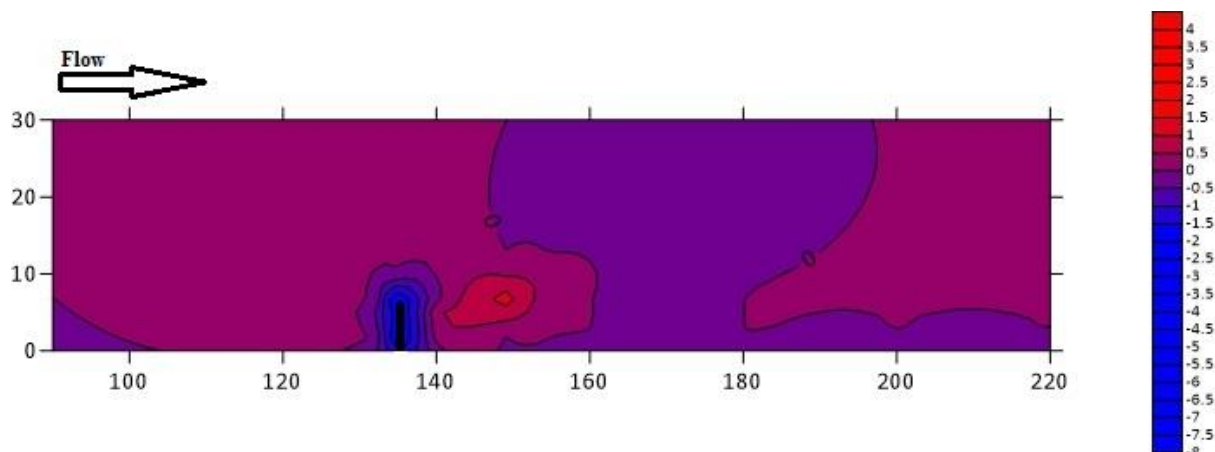
شکل ۱۰- آبشستگی پیرامون آبشکن ۹۰ درجه با  $P = 4\%$  و  $S/Ls = 0.14$



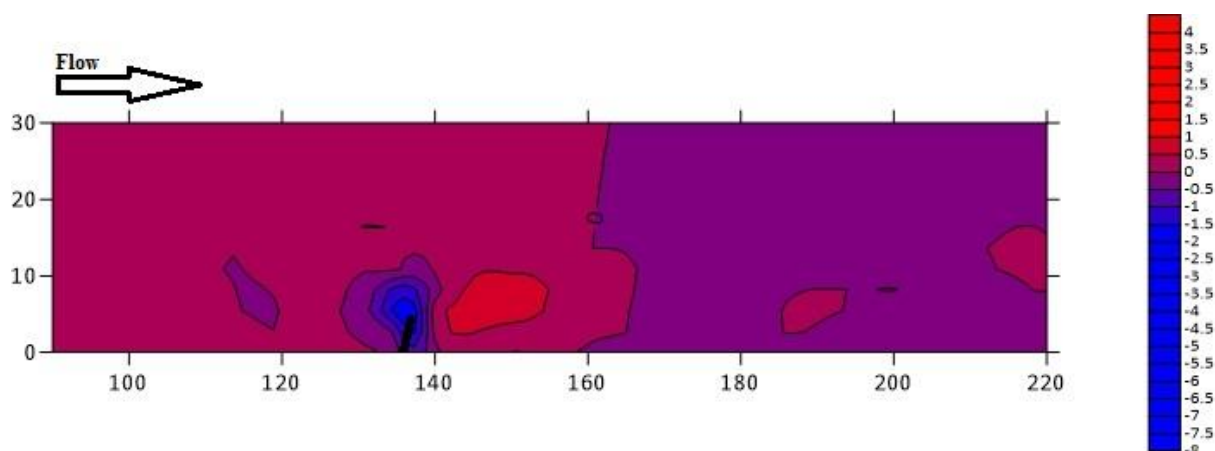
شکل ۱۱- آبشستگی پیرامون آبشکن ۱۱۰ درجه با  $P = 4\%$  و  $S/Ls = 0.14$



شکل ۱۲- آبشستگی پیرامون آبشکن با زاویه ۷۰ درجه در  $P = 4\%$  و  $S/Ls = 0.05$



شکل ۱۳- آبخستگی پیرامون آبشکن با زاویه ۹۰ درجه در  $P = 40\%$  و  $S/L_s = 0.05$



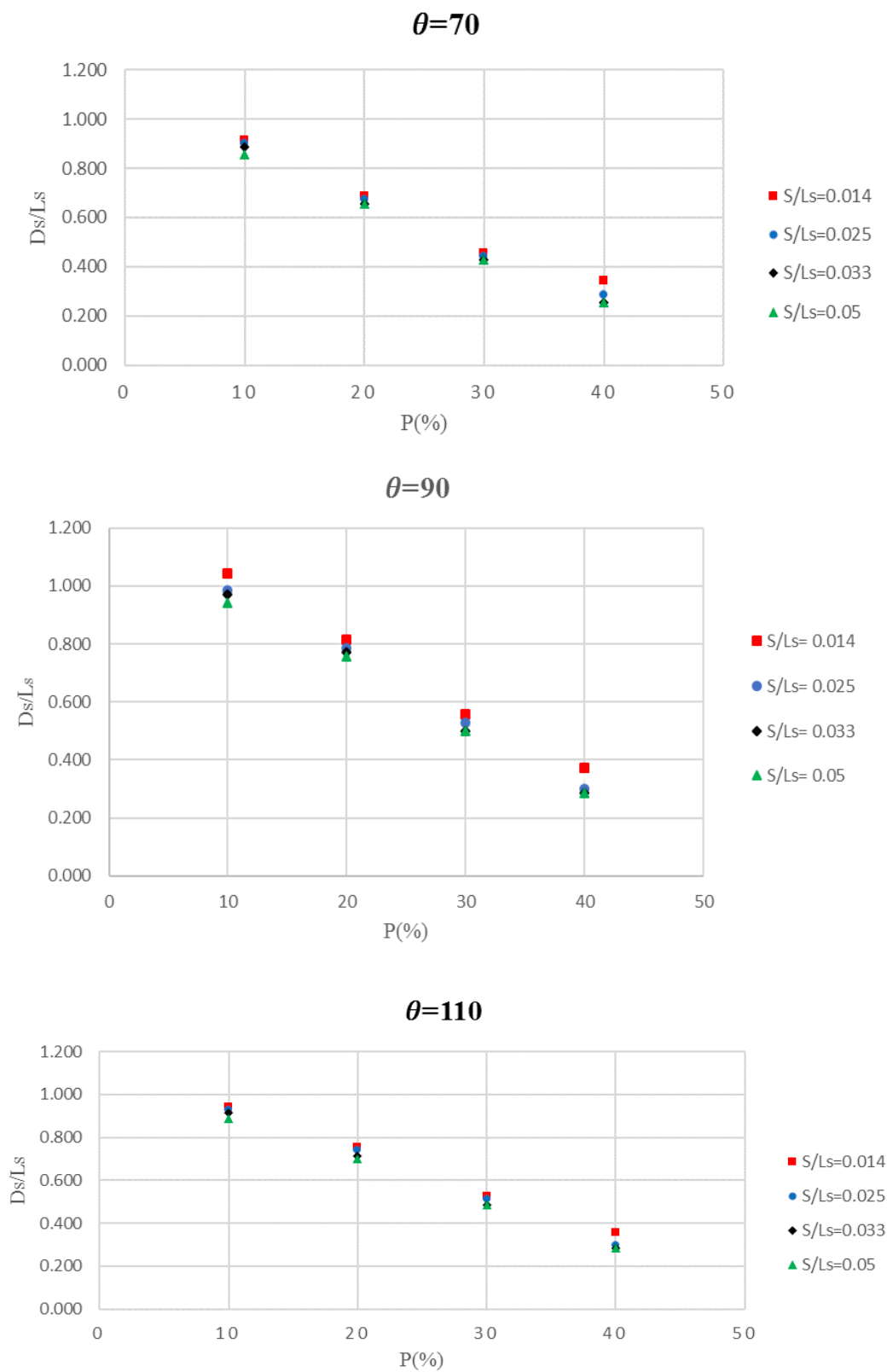
شکل ۱۴- آبخستگی پیرامون آبشکن با زاویه ۱۱۰ درجه در  $P = 40\%$  و  $S/L_s = 0.05$

هر سه حالت دافع (۷۰ درجه)، قائم (۹۰ درجه) و جاذب (۱۱۰ درجه) با افزایش میزان نفوذپذیری آبشکن، نسبت  $D_s/L_s$  روند کاهشی داشته است. این تغییرات در مقایسه با حالت شاهد بسیار چشمگیر است. بر اساس نتایج حاصل شده، برای همه حالت‌ها، در نفوذپذیری ۱۰ درصد، عمق آبخستگی به مراتب بیشتر از سایر آبشکن‌ها با نفوذپذیری‌های بالاتر می‌باشد. در نفوذپذیری ۱۰ درصد و  $S/L_s = 0.014$  نسبت  $D_s/L_s$  در حالت دافع ۰/۹۱، در حالت قائم ۱/۰۴ و در حالت جاذب ۰/۹۴ اندازه‌گیری شده است. اما در نفوذپذیری ۴۰ درصد و  $S/L_s = 0.014$ ، نسبت  $D_s/L_s$  در حالت دافع ۰/۳۴، در حالت قائم ۰/۳۷ و در حالت جاذب ۰/۳۵ می‌باشد. به بیان دیگر برای سه زاویه ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه با افزایش درصد نفوذپذیری، نسبت  $D_s/L_s$  به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۶۹ و ۰/۵۹ در محل دماغه آبشکن کاهش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با افزایش نفوذپذیری نسبت عمق آبخستگی دماغه آبشکن به طول آبشکن کاهش یافته است. این نتایج با یافته‌های ناس و میسرا (۲۰۱۷)، بیاره‌پور و کاشفی‌پور (۱۳۹۳) و چام‌پور و کاشفی‌پور (۱۳۹۷) تطابق دارد.

این نتایج در پژوهش اسماعیلی و همکاران (۲۰۲۲) نیز مشاهده شد که کمترین میزان آبخستگی در نفوذپذیری ۵۴ درصد رخ داد. شکل‌های (۱۲) تا (۱۴) مقایسه توپوگرافی ایجاد شده اطراف آبشکن در زوایای مختلف با  $S/L_s = 0.05$  در نفوذپذیری ۴۰ درصد را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های (۱۲) تا (۱۴)، برای زوایای مختلف آبشکن ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه، بیشینه عمق آبخستگی در محل دماغه آبشکن به ترتیب ۱/۸، ۲ و ۲ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. مقایسه شکل‌های (۸) تا (۱۳) نشان می‌دهد در همه زوایا، با افزایش نسبت  $S/L_s$ ، عمق آبخستگی کاهش می‌یابد.

#### آبخستگی پیرامون آبشکن با نفوذپذیری‌های مختلف

در شکل (۱۵) نسبت بی بعد عمق آبخستگی دماغه آبشکن به طول آبشکن ( $D_s/L_s$ ) در نفوذپذیری‌های مختلف از ۱۰ تا ۴۰ درصد برای سه زاویه ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه در نسبت‌های مختلف  $S/L_s$  ارائه شده است. با مشاهده و مقایسه نمودارهای شکل (۱۵)، مشاهده می‌شود در



شکل ۱۵- تغییرات  $D_s/L_s$  در نفوذپذیری ۱۰ تا ۴۰ درصد برای سه زاویه ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه

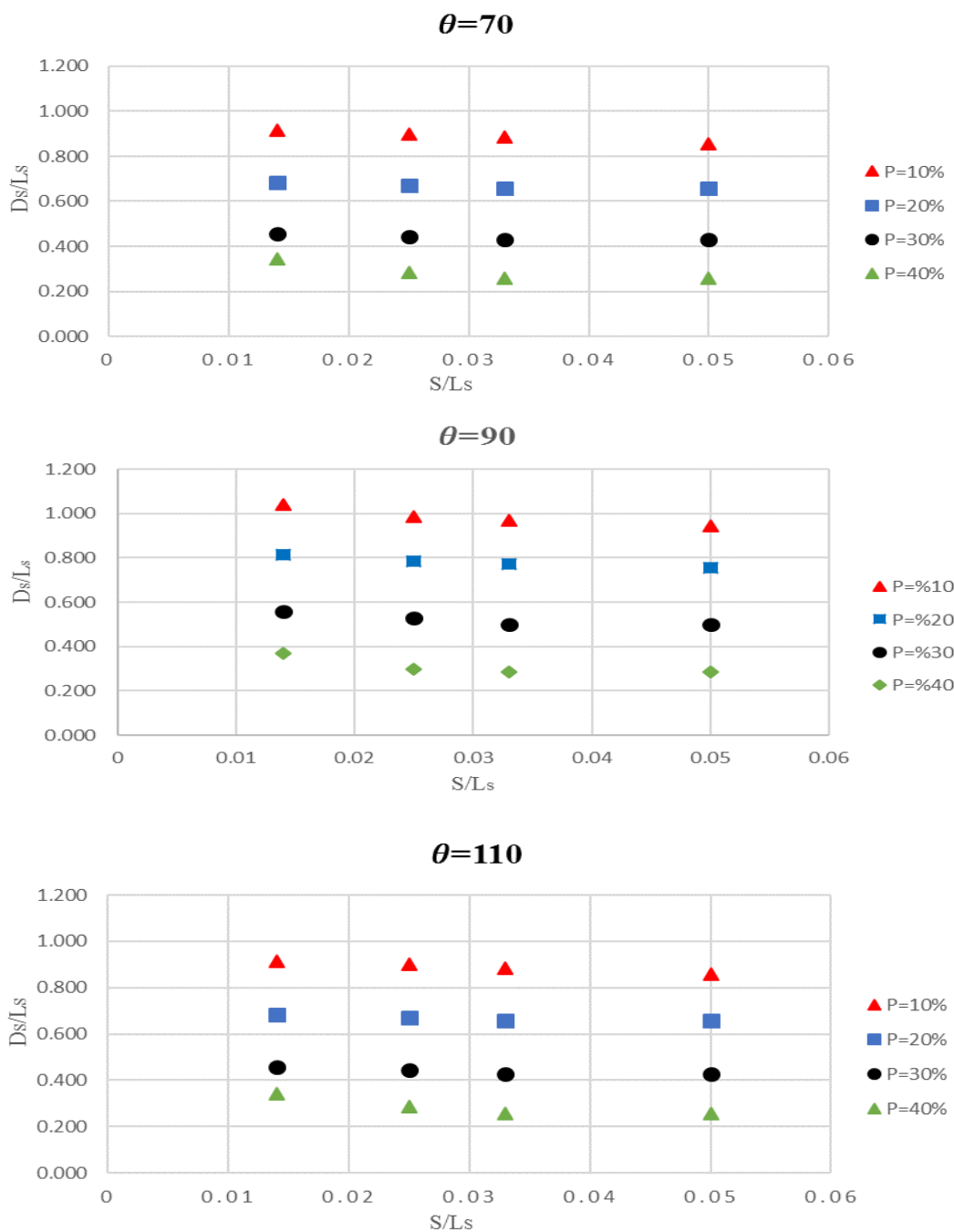
شاهد (آشکن نفوذناپذیر ۹۰ درجه) و  $D_s$  بیشینه عمق آبستگی دماغه آشکن در آزمایش مورد نظر می‌باشد.

شکل (۱۶) تغییرات نسبت  $D_s/L_s$  برای نسبت‌های مختلف  $S/L_s$  از ۰/۰۱۴ تا ۰/۰۵ برای سه زاویه ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه در نفوذپذیری ۱۰ تا ۴۰ درصد را نشان می‌دهد.

برای محاسبه درصد کاهش عمق آبستگی دماغه آشکن از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$D_s(\%) = \frac{D_s(base) - D_s}{D_s(base)} \times 100 \quad (6)$$

در این رابطه  $D_s(\%)$  درصد کاهش عمق آبستگی دماغه آشکن،  $D_s(base)$  بیشینه عمق آبستگی دماغه آشکن در آزمایش



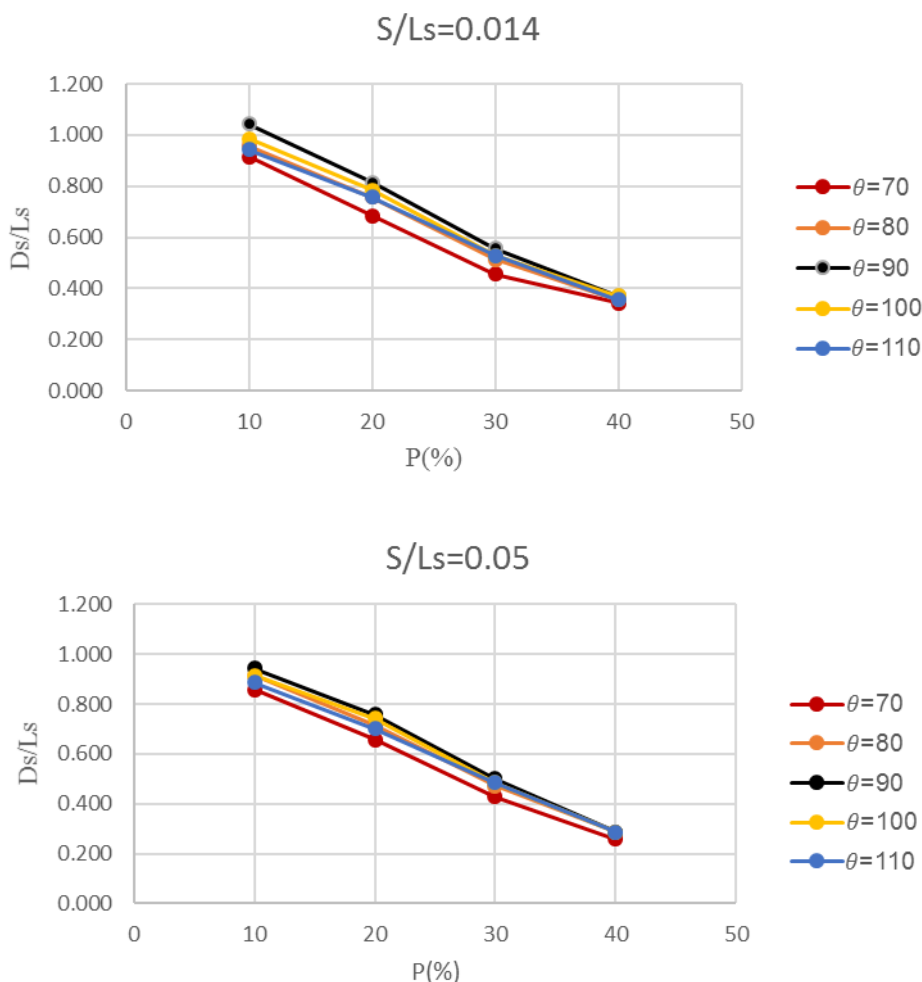
شکل ۱۶- تغییرات در  $D_s/L_s$  در نسبت‌های مختلف  $S/L_s$  از ۰/۰۱۴ تا ۰/۰۵ برای زاویه‌های ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه

درجه) در نفوذپذیری‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد، در  $S/L_s = 0.05$  برای حالت دافع به ترتیب ۲۶/۸، ۴۳/۹، ۶۳/۴ و ۷۸ درصد، برای حالت قائم به ترتیب ۱۹/۵، ۳۵/۳، ۵۷/۳ و ۷۵/۶ درصد و برای حالت جاذب ۲۴/۳، ۴۰/۲، ۵۸/۵ و ۷۵/۶ درصد بوده است. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که حداکثر درصد کاهش عمق آبشستگی دماغه آبشکن نسبت به حالت شاهد (آبشکن نفوذناپذیر ۹۰ درجه) برای حالت دافع به میزان ۷۸ درصد، برای حالت قائم ۷۵/۶ درصد و برای حالت جاذب ۷۵/۶ درصد می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش نفوذپذیری در همه زوایا تأثیر بسزایی در کاهش آبشستگی پیرامون آبشکن نسبت به حالت نفوذناپذیر دارد که این نتیجه با نتایج پژوهش‌های اهدایی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد.

با مشاهده و مقایسه نمودارهای شکل (۱۶)، ملاحظه می‌شود که در همه حالت‌ها با افزایش نسبت  $S/L_s$  در یک نفوذپذیری ثابت، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد.

بر اساس شکل (۱۶)، مشاهده می‌شود که نسبت  $D_s/L_s$  در نفوذپذیری ۴۰ درصد و در نسبت‌های مختلف  $S/L_s$  (۰/۱۴، ۰/۲۵، ۰/۳۳ و ۰/۴۰)، برای حالت دافع به ترتیب ۰/۲۸، ۰/۳۴، ۰/۴۰ و ۰/۴۵ و برای حالت قائم به ترتیب ۰/۳۰، ۰/۳۷، ۰/۴۰ و ۰/۴۵ و برای حالت جاذب به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۴۰، ۰/۴۵ و ۰/۴۸ می‌باشد. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد با افزایش نسبت  $S/L_s$ ، در همه حالت‌ها، میزان آبشستگی دماغه آبشکن کاهش پیدا کرده است. این روند نزولی در سایر نفوذپذیری‌ها نیز تکرار شده است.

با توجه به شکل (۱۶) مشاهده می‌شود که درصد کاهش عمق آبشستگی دماغه آبشکن نسبت به حالت شاهد (آبشکن نفوذناپذیر ۹۰



شکل ۱۷- تغییرات  $D_s/L_s$  برای نفوذپذیری‌های ۱۰ تا ۴۰ درصد و  $S/L_s$  های ۰/۱۴ و ۰/۰۵ در پنج زاویه مختلف

هر چه درصد نفوذپذیری افزایش یافته، میزان اثرگذاری زاویه نیز کاهش می‌یابد. در بازه اعداد مورد مطالعه در تحقیق، در آبشکن با زاویه ۷۰ درجه، نفوذپذیری ۴۰ درصد و  $S/L_s = 0/05$ ، کمترین میزان آبستگي پیرامون آبشکن مشاهده شد.

### منابع

اهدایی، پ. و کاشفی پور، م. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه و نفوذپذیری تک آبشکن بر روی ابعاد چاله آبستگي در شرایط غیر مستغرق. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۸ (۴): ۲۴-۱۵.

اسماعیلی، پ.، بوداق پور، س. و رستمی، م. میرزایی. ۱۳۹۹. بررسی آزمایشگاهی اثر طول سری آبشکن های T شکل بر کنترل فرسایش کناره در شرایط غیر مستغرق در کانال پیچان رودی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴ (۳): ۸۱۶-۸۰۷.

باجلوند، س.، گوهری، س. و حیدری، م. ۱۴۰۱. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر زاویه آبشکن چوگانی بر آبستگي و مقایسه آن با آبشکن L شکل. مدیریت آب و آبیاری. ۱۲ (۳): ۴۶۶-۴۵۵.

تیموری یگانه، م. ۱۴۰۱. شبیه سازی دو بعدی الگوی جریان در اطراف آبشکن با استفاده از مدل عددی *SRH-2D*. آب و توسعه پایدار. ۹ (۱): ۱۳۴-۱۲۷.

چام پور، م. و کاشفی پور، م. ۱۳۹۷. بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذپذیری و طول سری آبشکن ها بر ابعاد چاله آبستگي در شرایط غیر مستغرق در قوس ۹۰ درجه ملایم. نشریه علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰ (۳): ۴۸-۳۵.

چراغچی، س. و شفاعی بجستان، م. ۱۴۰۱. بررسی آزمایشگاهی تأثیر نفوذپذیری سازه ترکیبی آبشکن و صفحه مثلثی بر تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۱۸۰ درجه ملایم. نشریه علوم و مهندسی آبیاری. ۴۵ (۴): ۳۰-۱۵.

حاجی کندی، ه. و کاویانپور، م. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی سری آبشکنهای نفوذپذیر و نفوذ ناپذیر. دانشگاه آزاد اسلامی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.

دبیری، گ. و کاشفی پور، م. ۱۳۹۸. بررسی آزمایشگاهی اثر زاویه ی قرارگیری سری آبشکن های نفوذپذیر بر روی ابعاد چاله ی آبستگي در شرایط غیر مستغرق در قوس ملایم ۹۰ درجه. پژوهش آب ایران. ۱۳ (۲): ۵۰-۴۳.

رضانی، ی.، قمشی، م. و موسوی چهرمی، س. ح. ۱۳۹۱. اثر طول تکیه گاه بر آبستگي تکیه گاه پل در کانال های با مقطع مرکب.

**بررسی تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن بر آبستگي پیرامون آن**  
شکل (۱۷) تغییرات  $D_s/L_s$  برای نفوذپذیری های ۱۰ تا ۴۰ درصد و  $S/L_s$  های ۰/۱۴ و ۰/۰۵ برای زاویه های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱۷) مشاهده می‌شود که در  $S/L_s = 0/05$  و نفوذپذیری ۱۰ درصد، میزان  $D_s/L_s$  برای زاویه ۷۰ درجه ۰/۸۵، برای زاویه ۸۰ درجه ۰/۹۱، برای زاویه ۹۰ درجه ۰/۹۴، برای زاویه ۱۰۰ درجه ۰/۹۱ و برای زاویه ۱۱۰ درجه ۰/۸۸ می‌باشد. همچنین، در نفوذپذیری ۴۰ درصد و  $S/L_s = 0/05$ ، نتایج حاصل شده نشان می‌دهد مقدار  $D_s/L_s$  در زاویه ۷۰ درجه ۰/۲۵ و در زاویه های ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ درجه ۰/۲۸ می‌باشد. مقایسه نمودارها و مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد هر چه درصد نفوذپذیری افزایش یافته، میزان اثرگذاری زاویه نیز کاهش می‌یابد.

با توجه به نمودارهای شکل (۱۷)، زاویه نصب آبشکن باعث بهبود عملکرد آن در کاهش حداکثر عمق آبستگي دماغه آبشکن و به تبع آن کاهش توسعه گرداب نعل اسبی دماغه آبشکن شده است. کمترین عمق آبستگي دماغه آبشکن برای نفوذپذیری ۴۰ درصد، در زاویه نصب ۷۰ درجه و در مراحل بعدی ۱۱۰ و ۹۰ درجه مشاهده شد.

### نتیجه گیری

در این پژوهش اثر زاویه قرارگیری و ابعاد بازشدگی ها بر آبستگي دماغه آبشکن نفوذپذیر مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش ها در تحقیق حاضر با سه زاویه نصب ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه نسبت به افق ساحل بالادست فلووم و با ۴ درصد نفوذپذیری ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد و چهار نسبت  $S/L_s$  برابر با ۰/۱۴، ۰/۲۵، ۰/۳۳ و ۰/۰۵ انجام شد. به طور کلی نتایج تحقیق نشان داد حداکثر عمق آبستگي مربوط به دماغه آبشکن می باشد. نفوذپذیری آبشکن می تواند با تغییر الگوی جریان سبب کاهش عمق آبستگي دماغه آبشکن و کاهش ابعاد حفره آبستگي شود. همچنین هر چه درصد نفوذپذیری (P) و نسبت ابعاد بازشدگی آبشکن به طول آبشکن ( $S/L_s$ ) افزایش یابد، میزان آبستگي دماغه آبشکن کاهش می‌یابد. علت آن را می توان اینگونه توجیه کرد که با افزایش درصد نفوذپذیری و عبور بخشی از جریان از منافذ آبشکن، انحراف جریان در دماغه آبشکن و تشکیل گرداب نعل اسبی بسیار ضعیف تر شده و در نهایت عمق آبستگي و به تبع آن رسوب گذاری در پایین دست آبشکن کاهش می‌یابد. بررسی نتایج نشان داد تغییر در زاویه نصب، میزان نفوذپذیری و نسبت ابعاد بازشدگی آبشکن سبب بهبود عملکرد آن در کاهش حداکثر عمق آبستگي دماغه آبشکن شده است. کمترین عمق آبستگي دماغه آبشکن در زاویه نصب ۷۰ درجه و در مراحل بعدی در زوایای ۱۱۰ و ۹۰ درجه مشاهده شد. همچنین ملاحظه می‌شود که

- Bakker, W., Smit, C. and Svasek, J. 2015. Experiments and Practice in the Netherlands. Coastal Engineering. 1984. 12-24.
- ChoufU, L., Abbasi, S. and Tfwala, S. 2019. Investigation of Flow, Erosion, and Sedimentation Pattern around Varied Groynes under Different Hydraulic and Geometric Conditions. Water. 11 (2): 13-31.
- Dey, S. and Barbhuiya, A. K. 2005. Turbulent flow field in a scour hole at a semicircular abutment. Canadian Journal of Civil Engineering. 32 (1): 213-232.
- Farshad, R., Kashefipour, S. M., Ghomeshi, M. and Oliveto, G. 2022. Temporal scour variations at permeable and angled spur dikes under steady and unsteady flows. Water. 14(20): 3310.
- Kumar, V., Raju, K. G. R. and Vittal, N. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. Journal of hydraulic engineering. 125(12): 1302-1305.
- Nath, D. and Misra, U. K. 2017. Experimental study of local scour around single spur dike in an open channel. International Research Journal of Engineering and Technology. 4(6): 2728-2734.
- Pagliara, S. and Yarahmadi, M. 2022. Study of Scour and Flow Patterns around Triangular-Shaped Spur Dikes. Hydraulic Engineering. 24: 3279-3288.
- Pandey, M., Valyrakis, M., Qi, M., Sharma, A. and Lodhi, A. S. 2021. Experimental assessment and prediction of temporal scour depth around a spur dike. International Journal of Sediment Research. 36(1): 17-28.
- Sadeghi, F., Ramezani, Y. and Khozaymehnezhad, H. 2018. Effect of submergence ratio of parallel wall on bridge abutment scour. Alexandria engineering journal. 57(4): 2659-2665.
- نشریه دانش آب و خاک. ۲۲ (۳): ۱۱۴-۱۰۳.
- رمضانی، ی.، قمشی، م.، موسوی جهرمی، س. ح. و خزیمه نژاد، ح. ۱۳۹۳ الف. تأثیر پوشش گیاهی دشت سیلابی بر آبشستگی تکیه گاه پل در مقطع مرکب. مجله آب و خاک. ۲۸ (۳): ۵۱۲-۵۰۳.
- رمضانی، ی.، قمشی، م. و موسوی جهرمی، س. ح. ۱۳۹۳ ب. پیش‌بینی عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل در کانال‌ها با مقطع مرکب. پژوهش آب ایران. ۸ (۱۴): ۱۱۷-۱۰۹.
- شاکر، ا. و کاشفی پور، م. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی تأثیر طول و زاویه‌ی قرارگیری آبشکن‌های مستطیلی بر توزیع سرعت و تنش برشی در قوس ۹۰ درجه. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۸ (۳): ۱۲-۱.
- علیزاده ارمکی، ح.، قدسیان، م.، واقفی، م. و خسروی، م. ۱۳۹۴. مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن سرسپری مستغرق جاذب و دافع. مهندسی عمران مدرس. ۱۵ (۵): ۱۳۷-۱۴۷.
- کریمی، م.، قمشی، م. و رمضانی، ی. ۱۳۹۴. اثر احداث دیوار موازی بر کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل در مقطع مرکب. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۲ (۳): ۱۶۴-۱۵۱.
- ملکی، ف. و عباسی، س. ۱۳۹۷. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر استقرار آبشکن‌های نفوذپذیر با آرایش شعاعی دافع بر حداکثر نرخ آبشستگی موضعی دماغه. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۱۲ (۴۳): ۶۱-۶۹.
- یباره پور، ا. و کاشفی پور، م. ۱۳۹۳. مقایسه توپوگرافی بستر برای سری آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۷ (۴): ۷۷-۸۶.

## The Effect of the Dimension of the Openings on the Scouring of the Permeable Spur Dike at Different Angles

M. Hajiabadi<sup>1</sup>, Y. Ramezani<sup>2\*</sup>, H. Khozaymehnezhad<sup>3</sup>

Received: Feb.18, 2025

Accepted: Apr.16, 2025

### Abstract

A spur dike is a structure that is designed to prevent the erosion of the river banks and to prevent waves and sediment from entering the river. The height, length, angle and permeability of the spur dike are among the factors that affect scour around the spur dike. The purpose of this research is to investigate the effect of the dimensions of the openings on the scouring of the permeable spur dike at different angles in the non-submerged condition. The experiments of this research were carried out in a rectangular flume with a length of 10 meters, a width of 30 cm and a height of 50 cm. To conduct the experiments, spur dike made of plexiglass sheets with a thickness of 2 mm and a height of 32 cm (to create non-submerged conditions) and a length of 7 cm (equal to 23% of the flume width) were used. All experiments were performed in clear water conditions ( $U/U_c = 0.95$ ). In the present research, spur dikes with four permeability percentages of 10, 20, 30 and 40% in four  $S/L_s$  (ratio of spur dike opening dimensions to spur dike length) equal to 0.014, 0.025, 0.033, and 0.05 with five angles of 70-, 80-, 90-, 100-, and 110- degree relative to the horizon of the upstream of the flume were used. In all angles, with the increase in permeability percentage and  $S/L_s$ , scour depth decreases. According to the results and in the range of numbers studied in this research, using a spur dike and installing it at an angle of 70-degree with a permeability of 40% and  $S/L_s$  equal to 0.05 caused a 78% reduction in the scouring depth at the nose of the spur dike compared to the impermeable spur dike of 90-degree. Also, the lowest scouring depth at the nose of the spur dike was observed at the installation angle of 70-degree and in the later stages at the angles of 110- and 90-degree.

**Keywords:** Angle, Clear water, Permeable spur dike, Scour, Sedimentary bed

1- M.Sc. Student, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

(\*- Corresponding Author Email: y.ramezani@birjand.ac.ir)