

مقاله علمی-پژوهشی

## تأثیر شکل‌های مختلف آبشکن منفرد بر آبستگي تکیه‌گاه پل در کانال مرکب

صمد امامقلی‌زاده<sup>۱</sup>، امین ناظری<sup>۲\*</sup>، خلیل ازدری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

### چکیده

وقوع آبستگي از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده پایداری تکیه‌گاه‌های پل احداث‌شده بر روی رودخانه‌ها است. اکثر تکیه‌گاه پل‌ها در دشت سیلابی قرار گرفته‌اند. در پژوهش حاضر به بررسی اثر چهار شکل مختلف از آبشکن منفرد شامل آبشکن‌های ساده، T شکل، L شکل با زبانه پایین‌دست و L شکل با زبانه بالادست بر حداکثر عمق آبستگي تکیه‌گاه پل واقع در دشت سیلابی پرداخته شده است. این پژوهش بر روی فلوم مستطیلی شکل به عرض ۱ متر، طول ۱۲ متر و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر صورت گرفت. کانال مرکب به صورت متقارن و مستطیلی با عرض کانال اصلی ۲۰ سانتی‌متر و عرض سیلاب‌دشت‌ها ۴۰ سانتی‌متر ساخته شد. آبشکن‌ها با سه طول ۴، ۸ و ۱۲ سانتی‌متر، در فاصله‌های ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۲۸ و ۳۲ سانتی‌متر از تکیه‌گاه ۱۶ سانتی‌متری به صورت منفرد نصب شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد آبشکن‌های ساده، T شکل، L شکل با زبانه پایین‌دست و L شکل با زبانه بالادست حداکثر عمق آبستگي در تکیه‌گاه را به ترتیب ۸۰، ۹۳، ۹۶ و ۷۸ درصد کاهش داده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** آبستگي موضعی، آبشکن، تکیه‌گاه پل، سیلاب‌دشت، مدل آزمایشگاهی

### مقدمه

آبستگي پایه و ۷۲ درصد به علت وقوع آبستگي در تکیه‌گاه بوده است (خزیمه‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به اهمیت موضوع جامعه تحقیقاتی همواره به دنبال پیدا کردن راه‌حل‌های علمی برای به حداقل رساندن اثرات چشمگیر آبستگي بر تکیه‌گاه پل‌ها بوده‌اند (EL-Ghorab, 2013). به‌منظور کاهش میزان آبستگي و مهار آن معمولاً از دو روش کلی استفاده می‌شود. در روش اول پایداری بستر با استفاده از سنگ‌چین حفاظتی (ریپر) یا قطعات پیش‌ساخته بتنی و گابیون افزایش داده می‌شود و در روش دوم الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل با تغییر در هندسه تکیه‌گاه و ایجاد موانع در مسیر جریان، مانند استفاده از آبشکن محافظ، طوقه، صفحه مستغرق و گروه شمع، تغییر داده می‌شود (محمدپور و شفاعی‌بجستان، ۱۳۹۶). کارایی و اثربخشی هر کدام از روش‌های ذکر شده در تحقیقات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است که در ادامه به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌شود. کورکت و همکاران به بررسی نقش کیسه‌های خاک در کاهش آبستگي پیرامون تکیه‌گاه پل پرداخته و دستورالعمل‌های طراحی شامل محل قرارگیری کیسه‌های خاک و اندازه آن‌ها را پیشنهاد کردند (Korkut et al., 2007). کاردوسو و همکاران حفاظت دماغه تکیه‌گاه با دیوارهای عمودی را در برابر آبستگي بررسی کردند. هدف از این پژوهش طراحی پوشش ریپر به‌منظور حفاظت

یکی از عمده‌ترین مشکلات سازه‌هایی نظیر پل‌ها که پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های آن‌ها در رودخانه‌های قابل فرسایش قرار گرفته است، آبستگي ایجادشده در اطراف تکیه‌گاه و پایه‌ها است. پس از احداث پل در مسیر رودخانه، پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل به‌صورت یک مانع عمل کرده و باعث تغییر مسیر جریان در محل برخورد با سازه و توسعه جریان‌های گردابی می‌شوند. این گرداب‌ها ذرات بستر اطراف سازه را از جای حرکت داده و آن‌ها را در مسیر جریان رودخانه قرار می‌دهند، این عمل در نهایت باعث ایجاد و توسعه حفره آبستگي در محل استقرار تکیه‌گاه و پایه پل خواهد شد (ناظری، ۱۳۹۳). داده‌ها بیانگر این موضوع هستند که آبستگي تکیه‌گاه در مقایسه با آبستگي پایه مشکلات بیشتری را ایجاد خواهد نمود (Hong and Abid, 2019). طبق گزارشی که سازمان بزرگراه‌های ایالتی آمریکا در سال ۱۹۷۳ منتشر کرد از ۳۸۳ مورد تخریب پل ۲۵ درصد به علت

۱- دانشیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران  
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران  
۳- دانشیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران  
(\* نویسنده مسئول: Email: aminnazeri97@gmail.com)

آبستگي مؤثر هستند. خسروي نيا و همکاران کارايي طوقه‌هاي دوزنقه‌اي شکل را در کاهش ميزان آبستگي در اطراف تکیه‌گاه مورد بررسي قرار دادند. نتايج آن‌ها نشان داد به‌طورکلي کارگذاري طوقه موجب کاهش ۹ تا ۳۷ درصدی آبستگي در تکیه‌گاه می‌شود. همچنين اين تحقيق نشان داد افزايش عرض طوقه نه تنها باعث کاهش حداکثر عمق آبستگي در تکیه‌گاه می‌شود بلکه زمان وقوع آبستگي را نیز به تأخیر می‌اندازد (Khosravinia et al., 2018). صحت و همکاران تأثیر شکاف‌هاي همگرا و واگرا را بر ميزان آبستگي در اطراف تکیه‌گاه بررسي کردند. نتايج پژوهش آن‌ها نشان داد وجود شکاف در بدنه تکیه‌گاه آبستگي در اطراف آن را به ميزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. آبستگي در تکیه‌گاه‌هاي داراي شکاف‌هاي همگرا و واگرا به ترتیب ۴۱ و ۱۷ درصد کمتر از آبستگي در تکیه‌گاه بدون شکاف است (Sehat et al., 2020). ذوالقدر و شفاعي بجستان تأثیر کارگذاري المان‌هاي شش‌پايه را بر آبستگي در اطراف تکیه‌گاه بررسي کردند. نتايج آن‌ها نشان داد که المان‌هاي شش‌پايه به‌طور قابل توجهی می‌توانند آبستگي را در شرايط جريان مختلف کاهش دهند. با یک آرایش بهينه، اين المان‌ها آبستگي را تا مقدار ۱۰۰ درصد کاهش می‌دهند (Zolghadr and Shafai Bejestan, 2020). کارايي هرکدام از روش‌هاي ذکرشده در کاهش حداکثر عمق آبستگي اطراف تکیه‌گاه به‌طور خلاصه در جدول ۱ نشان داده شده است.

تکیه‌گاه از آبستگي در شرايط آب زلال بود. آن‌ها دریافته‌اند که با افزايش طول تکیه‌گاه فاصله بين نقطه حداکثر آبستگي و تکیه‌گاه افزايش می‌یابد و نیز زاويه موقعیت عمیق‌ترین نقطه آبستگي نزدیک ۳۰ درجه است. شکل تکیه‌گاه و انقباض جريان تأثیری در ميزان حداقل پوشش ریب‌رپ حول تکیه‌گاه ندارد (Cardoso et al., 2010). خادمی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسي عملکرد صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه در کاهش آبستگي پیرامون تکیه‌گاه پل با شکل مستطیلی پرداختند. نتايج آزمایش‌هاي اين محققان نشان داد اين سازه با ایجاد منطقه‌ی کم‌سرعت پیرامون تکیه‌گاه و مهار گرداب‌هاي اوليه، نقش مؤثری در کاهش آبستگي دارد. خزيمه‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد طوقه L شکل را در کاهش آبستگي موضعی پیرامون تکیه‌گاه مورد بررسي قرار دادند. نتايج پژوهش آن‌ها نشان داد طوقه‌ها بستر را در مقابل جريان‌هاي گردابي اطراف تکیه‌گاه محافظت کرده و آبستگي را تا ميزان ۶۰ درصد کاهش می‌دهند. امامقلي زاده و نوحانی (۱۳۹۶) با انجام آزمایش‌هايی تأثیر پره‌هاي مستغرق در کاهش آبستگي تکیه‌گاه پل واقع در دشت سيلابی را مورد بررسي قرار دادند. نتايج آن‌ها نشان داد پره‌هاي مستغرق موجب کاهش آبستگي در اطراف تکیه‌گاه و همچنين حرکت حفره آبستگي به سمت مرکز کانال شده است. شهسواری و حیدرپور (۱۳۹۷) تأثیر زبری‌هاي موضعی را بر کنترل و کاهش آبستگي تکیه‌گاه پل بررسي کردند. نتايج آزمایش‌هاي آن‌ها نشان داد که اين زبری‌ها در کاهش عمق آبستگي و همچنين تأخیر در روند

جدول ۱- کارايي روش‌هاي کاهش حداکثر عمق آبستگي اطراف تکیه‌گاه

محقق	روش مورد استفاده	حداکثر کارايي (درصد)
کورکت و همکاران (۲۰۰۷)	کیسه‌هاي خاکی و بتنی	۱۰۰
خیراله خادمی و همکاران (۱۳۹۳)	صفحات مستغرق متصل به تکیه‌گاه	۸۰
خزيمه‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵)	طوقه L شکل	۶۰
امامقلي زاده و نوحانی (۱۳۹۶)	پره‌هاي مستغرق	۸۷
شهسواری و حیدرپور (۱۳۹۷)	زبری‌هاي موضعی	۴۶
خسروي نيا و همکاران (۲۰۱۸)	طوقه‌هاي دوزنقه‌اي شکل	۳۷
صحت و همکاران (۲۰۲۰)	شکاف‌هاي همگرا و واگرا	۵۰
ذوالقدر و شفاعي بجستان (۲۰۲۰)	المان‌هاي شش‌پايه	۱۰۰

(al., 2013).

در سال‌هاي اخير پژوهش‌هايی در رابطه با تأثیر انواع آبشکن بر کاهش آبستگي تکیه‌گاه‌هاي پل انجام گرفته است. صانعی و همکاران (۱۳۹۱) تحقیقاتی را در مورد بررسي اثر آبشکن از جهت فاصله با دماغه و طول آن بر ميزان آبستگي دماغه تکیه‌گاه پل در کانال مرکب پل انجام دادند. نتايج آزمایش‌هاي انجام شده نشان داد که استفاده از آبشکن محافظ تأثیر مثبتی در کاهش آبستگي تکیه‌گاه دارد. اژدری و همکاران (۱۳۹۶) به مطالعه تأثیر قرارگیری

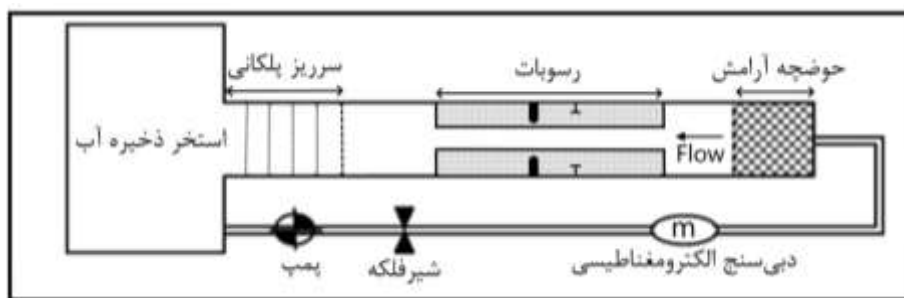
از جمله روش‌هايی که با تغییر در الگوی جريان موجب کاهش آبستگي در اطراف تکیه‌گاه می‌شود احداث آبشکن در بالادست تکیه‌گاه است. آبشکن‌ها به شکل دیواره‌هايی هستند که به صورت سری (چند آبشکن) و یا منفرد در عرض رودخانه و با طول مناسب و در اغلب موارد، عمود بر راستای عمومی جريان احداث می‌شوند (ناظری، ۱۳۹۳). آبشکن‌ها در اشکال مختلفی ساخته و مورد استفاده قرار می‌گیرند. رایج‌ترین نوع آبشکن‌ها عبارت‌اند از آبشکن ساده، آبشکن T شکل، آبشکن L شکل و آبشکن چوگانی (Dehghani et

## مواد و روش‌ها

### مدل آزمایشگاهی مورد استفاده

به منظور انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری داده‌های لازم، کانال و تجهیزات مورد نیاز طراحی و ساخته شد. کانال مورد استفاده دارای طول ۱۲ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر بود. به منظور آرام نمودن جریان ورودی به کانال، یک صفحه مشبک فلزی در فاصله یک متری از ابتدای فلوم به صورت عمودی نصب گردید. به منظور قرائت دبی نیز یک دستگاه دبی‌سنج الکترومغناطیسی مدل PMAG، بر روی لوله رانش نصب و مورد استفاده قرار گرفت. فاصله بین دیواره‌ی بالادست کانال و صفحه مشبک به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر از قطعات سنگی با قطر متوسط ۵ سانتی‌متر پوشیده شد. آشفتگی جریان آب که از پمپ سانتریفوژ وارد می‌شد با ورود به این محفظه و برخورد با قطعات سنگی و صفحه مشبک گرفته شده و جریان به آرامی وارد فلوم می‌شد. عمق آب در کانال نیز با استفاده از تیرک‌های چوبی نصب شده در انتهای کانال تنظیم می‌شد. قسمت‌های مختلف مدل آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

آبشکن سرسپری نامتقارن بر آبشستگی تکیه‌گاه پل واقع در دشت سیلابی پرداختند. نتایج تحقیق این پژوهشگران نشان داد آبشکن سرسپری نامتقارن به میزان قابل توجهی میزان آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه را کاهش می‌دهد. سعادت‌نیا و همکاران (۱۳۹۷) نیز با انجام آزمایش‌هایی تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن ساده بر کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل را مورد بررسی قرار دادند. تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد در صورتی که زاویه قرارگیری آبشکن با جداره ۹۰ درجه باشد آبشکن بیشترین کارایی را در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه دارد. تاکنون تحقیقی که به طور جامع تأثیر آبشکن‌های مختلف بر آبشستگی تکیه‌گاه را در شرایط یکسان مورد مقایسه قرار دهد انجام نشده است لذا در پژوهش حاضر به مقایسه اثر چهار شکل مختلف از آبشکن منفرد (آبشکن‌های ساده، T شکل، L شکل با زبانه پایین‌دست و L شکل با زبانه بالادست) بر حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه پرداخته شده است.

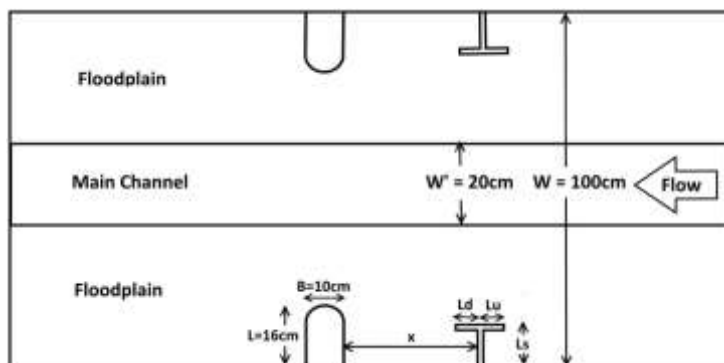


شکل ۱- نمای مدل آزمایشگاهی ساخته شده (پلان)



شکل ۲- اجزای مختلف مدل آزمایشگاهی

درجه یکنواختی رسوبات از ۱/۳ کوچک تر باشد می توان رسوبات را یکنواخت در نظر گرفت (Dey and Barbhuiya., 2005). با توجه به این که ضریب یکنواختی رسوبات استفاده شده برابر با ۱/۲۷ بود رسوبات یکنواخت در نظر گرفته شد. نمای کلی مقطع مرکب و موقعیت قرارگیری تکیه گاه ها و آبشکن ها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- نمای مقطع مرکب

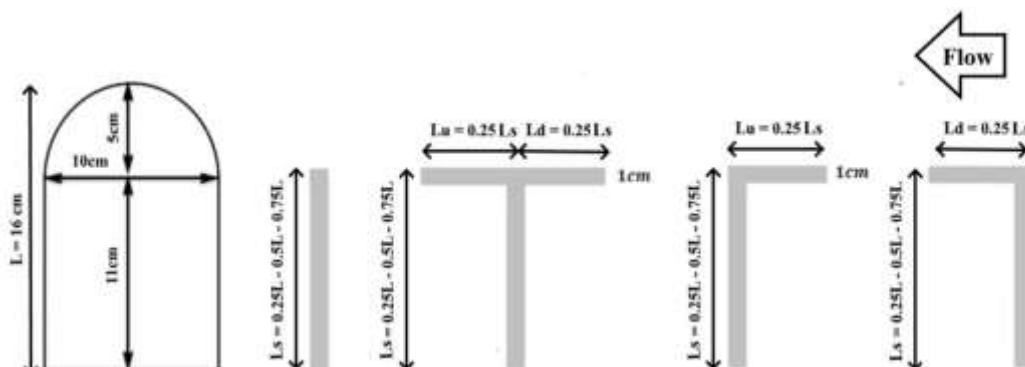
تقسیم بندی شدند. در آزمایش های سری اول یک آبشکن T شکل منفرد با ابعاد و فواصل مختلف در بالادست تکیه گاه نصب شد. در این نوع آبشکن نسبت طول بال آبشکن به طول آبشکن برابر با ۰/۵ بود. پس از مشاهده الگوی جریان در اطراف تکیه گاه و محل شکل گیری جریان چرخشی و نیز با توجه به این که هدف از استفاده آبشکن کاهش هزینه های ساخت تکیه گاه و استفاده از سازه ای مقرون به صرفه است، سه طول ۰/۲۵L، ۰/۵L، و ۰/۷۵L برای آبشکن در نظر گرفته شد (L طول تکیه گاه). در شروع کار آبشکن با فاصله ۰/۲۵L در بالادست تکیه گاه نصب شد که در هر آزمایش این فاصله به میزان ۰/۲۵L افزایش یافت. در آزمایش های انجام شده مشاهده شد که اگر میزان فاصله آبشکن از ۲L بیشتر شود تأثیر آن بر روی سازه پایین دست کاهش می یابد، به همین دلیل حداکثر فاصله آبشکن منفرد از تکیه گاه به ۲L محدود شد. آزمایش ها برای هر طول آبشکن در تمامی فاصله ها تکرار شد. در سری های بعدی آزمایش به ترتیب از آبشکن با شکل های L شکل با زبانه رو به پایین، L شکل با زبانه رو به بالا و آبشکن ساده استفاده شد. طول آبشکن و فاصله نصب آن ها از تکیه گاه مانند آزمایش های سری اول در نظر گرفته شد. در آبشکن های L شکل نسبت طول بال به طول آبشکن برابر با ۰/۲۵ بود. ابعاد تکیه گاه و آبشکن های مورد استفاده در شکل ۴ نشان داده شده است.

طول مقطع مرکب ساخته شده ۶ متر بود که در فاصله ۳ تا ۹ متری از ابتدای کانال نصب گردید. کانال اصلی مقطع مرکب از جنس شیشه و دارای عرض ۲۰ و عمق ۸ سانتی متر بود. دو طرف کانال اصلی به ارتفاع ۱۰ سانتی متر از رسوبات درشت دانه و به ارتفاع ۲۰ سانتی متر بر روی آن ها از رسوبات ریزدانه یکنواخت با قطر متوسط ۱ میلی متر و شیب طولی ۰/۰۱ پوشیده شد. چگالی رسوب ریزدانه برابر با  $\rho_s = 2650 \text{ kg / m}^3$  و ضریب یکنواختی آن ۱/۲۷ بود. در صورتی که

#### ابعاد تکیه گاه و آبشکن های مورد استفاده و سایر پارامترهای مورد آزمایش

بر طبق تحقیقات ملویل، شکل تکیه گاه نقش بسیار مهمی در میزان آبستگي اطراف آن دارد. بیش ترین میزان آبستگي نیز به ترتیب در تکیه گاه های دیوار قائم و تکیه گاه های با دماغه نیم گرد اتفاق می افتد. تکیه گاه های با دماغه نیم دایره در مقایسه با تکیه گاه های دیوار قائم بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند (Melville, 1995). لذا برای انجام آزمایش ها از تکیه گاه با شکل دماغه نیم دایره استفاده شد. تکیه گاه مورد استفاده از جنس ورق گالوانیزه به طول ۱۶ سانتی متر و با شکل دماغه نیم دایره ای به قطر ۱۰ سانتی متر ساخته شد. مبنای انتخاب این طول تکیه گاه این است که به توصیه ملویل برای دستیابی به نتایج دقیق تر، نسبت طول تکیه گاه به عمق جریان باید بین اعداد ۱ و ۲۵ باشد (Melville, 1995). بر همین مبنای و با توجه به عمق جریان، طول ۱۶ سانتی متر برای تکیه گاه در نظر گرفته شد. عرض کوله نیز، بر مبنای عرض جاده عبوری از روی پل و در نظر گرفتن یک مقیاس فرضی برای مدل، انتخاب شد.

برای انجام آزمایش ها از چهار نوع آبشکن T شکل، آبشکن L شکل با زبانه رو به پایین، آبشکن L شکل با زبانه رو به بالا و آبشکن ساده استفاده شد. آبشکن های مورد استفاده نفوذناپذیر بوده و از جنس شیشه با ضخامت ۱۰ میلی متر و به ارتفاع ۳۵ سانتی متر ساخته شدند. به استثنای آزمایش های شاهد، آزمایش ها به چهار سری آزمایش



شکل ۴- ابعاد تکیه‌گاه و آبشکن‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها

عمق سنج برداشت شد. عمق آبشستگی در گودترین نقطه حفره آبشستگی به عنوان معیار سنجش میزان آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه مورد استفاده قرار گرفت.

#### آنالیز ابعادی پارامترهای مورد آزمایش

با توجه به پارامترهای مؤثر بر آبشستگی تکیه‌گاه، می‌توان رابطه ذیل را برای حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه با حضور آبشکن تعریف نمود:

$$F(ds, dsc, V, y, W, L, B, B_s, L_s, L_u, L_d, X, S, \nu, \rho, \rho_s, d_{50}, g) = 0 \quad (1)$$

که در آن  $ds$  و  $dsc$  حداکثر عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه به ترتیب با حضور و بدون حضور آبشکن،  $V$  سرعت متوسط جریان،  $y$  عمق جریان،  $W$  عرض کل کانال،  $W'$  عرض کانال اصلی،  $L$  طول تکیه‌گاه،  $B$  عرض تکیه‌گاه،  $B_s$  ضخامت آبشکن،  $L_s$  طول آبشکن،  $L_u$  طول بال بالادست آبشکن،  $L_d$  طول بال پایین دست آبشکن،  $X$  فاصله آبشکن از تکیه‌گاه،  $S$  شیب مواد بستر،  $\rho$  جرم مخصوص آب،  $\rho_s$  جرم مخصوص رسوبات بستر،  $\nu$  لزجت سینماتیکی آب،  $d_{50}$  قطر متوسط ذرات بستر،  $g$  شتاب گرانش.

با انتخاب سه پارامتر  $\rho$ ،  $V$  و  $y$  به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش  $\pi$ -باکینگهام، پارامترهای رابطه ۱ به پارامترهای بی‌بعد تبدیل شدند که پس از حذف پارامترهای بی‌بعدی که در این پژوهش ثابت بودند و همچنین با ترکیب برخی پارامترهای بدون بعد به صورت ضرب یا تقسیم، در نهایت رابطه ۲ به دست آمد:

$$F\left(\frac{dsc - ds}{dsc}, \frac{Vy}{\nu}, \frac{L_s}{L}, \frac{L_u}{L}, \frac{L_d}{L}, \frac{X}{L}, \frac{V}{\sqrt{gy}}\right) = 0 \quad (2)$$

با توجه به ثابت بودن دبی و عمق جریان در تمامی آزمایش‌ها، دو پارامتر  $V/\sqrt{gy}$  و  $Vy/\nu$  نیز از رابطه ۲ حذف شدند.

با در نظر گرفتن پارامتر  $\frac{dsc - ds}{dsc}$  به عنوان متغیر وابسته و حذف پارامترهای بی‌بعد ثابت، رابطه ۳ برای حداکثر عمق آبشستگی در

برای تعیین مدت زمان انجام آزمایش‌ها در ابتدا یک آزمایش اولیه برای رسیدن به عمق ثابت آبشستگی بدون حضور آبشکن محافظ بر روی تکیه‌گاه انجام شد. در این آزمایش که ۴ ساعت به طول انجامید پس از ۹۰ دقیقه عمق آبشستگی به حدود ۸۵ درصد حداکثر عمق آبشستگی رسید؛ بنابراین مدت زمان انجام آزمایش‌ها ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

#### نحوه انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در آب زلال و شرایط ثابت هیدرولیکی انجام شد. به همین منظور ابتدا با استفاده از معیار شیلدز سرعت بحرانی ذرات بستر تعیین گردید سپس با توجه به دبی انتخابی عمق جریان به گونه‌ای تعیین شد که نسبت سرعت جریان  $U$  به سرعت بحرانی  $U_c$  کمتر از ۰/۹۵ شده و شرایط آبشستگی آب زلال برقرار شود (Raudkivi, 1998) که با انتخاب دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه برای انجام آزمایش‌ها عمق آب در دشت سیلابی برابر با ۱۰/۵ سانتی‌متر تعیین شد. با توجه به ابعاد کانال و همچنین مشخصات جریان پارامتر عدد رینولدز جریان برابر با ۲۸۰۰۰ و عدد فرود نیز برابر با ۰/۳ به دست آمد.

ابتدا پیش از شروع هر آزمایش سطح رسوبات بستر به طور کامل تسطیح می‌شد، سپس پمپ روشن شده و دبی به طور محدود از داخل کانال اصلی جریان پیدا می‌کرد تا حوضچه آرامش انتهایی (فاصله بین انتهایی مقطع مرکب و تیرک‌های سدکننده) پر شود. به این ترتیب آب از بالادست و پایین دست به آرامی وارد سیلاب‌دشت شده تا روی رسوبات به ارتفاع تقریبی ۲۰ سانتی‌متر از آب پوشانده شود. سپس با استفاده شیرفلکه قابل تنظیم نصب شده بر روی پمپ و با مشاهده دبی سنج الکترومغناطیسی به آهستگی به دبی موردنظر رسانده می‌شد. در این حالت ارتفاع تیرک‌های انتهایی تا اندازه‌ای بود که رسوبات موجود در سیلاب‌دشت در این دبی به حرکت درنیاید. با کاهش ارتفاع تیرک‌ها عمق موردنظر تنظیم و آزمایش شروع می‌شد. پس از اتمام آزمایش و تخلیه کامل آب، پروفیل آبشستگی با استفاده از دستگاه

تکیه‌گاه به دست آمد:

$$Pr = F\left(\frac{L_s}{L}, \frac{L_u}{L_s}, \frac{L_d}{L_s}, \frac{X}{L}\right) \quad (3)$$

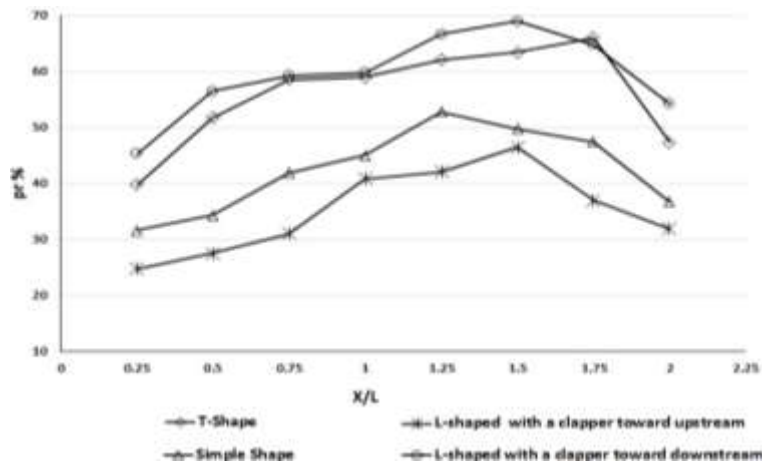
پارامتر Pr درصد کاهش آبستگی یا کارایی آبشکن است و از رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$Pr \% = \frac{dsc - ds}{dsc} \times 100 \quad (4)$$

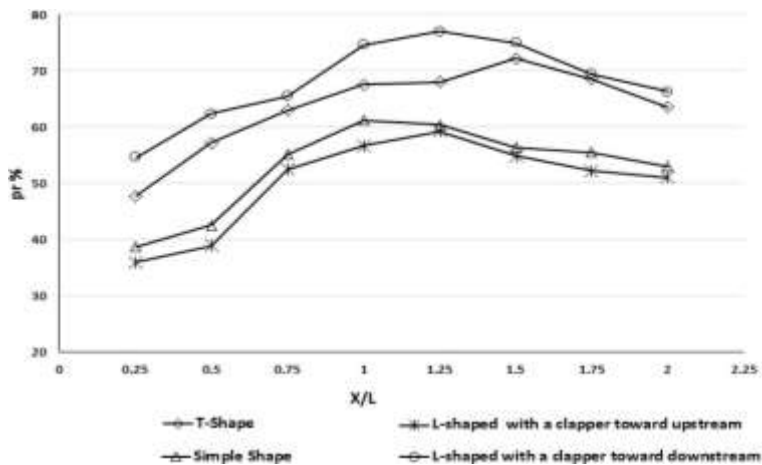
## نتایج و بحث

در نمودارهای شکل‌های ۵ تا ۷ تغییرات درصد کارایی آبشکن به ازای تغییرات پارامتر X/L برای شکل‌های مختلف آبشکن نشان داده شده است:

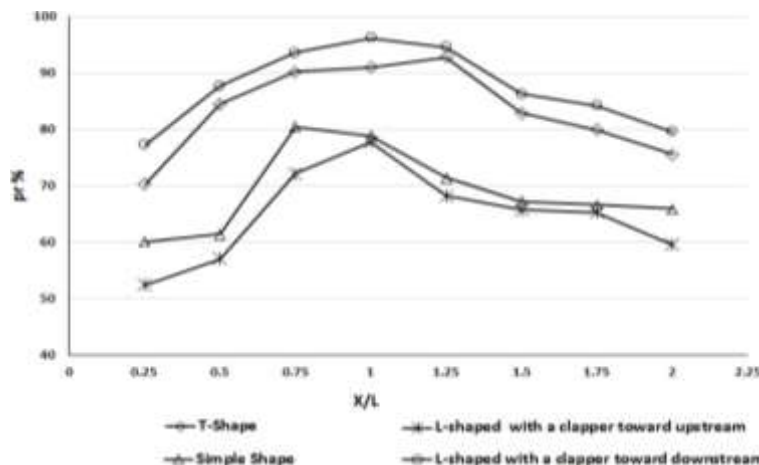
با نگاهی کلی به نمودار شکل‌های ۵ تا ۷ ملاحظه می‌شود که در تمامی ابعاد و شکل‌های آبشکن تغییرات کارایی آبشکن Pr به ازای تغییرات پارامتر X/L یک روند نسبتاً ثابت وجود دارد. به این صورت که در ابتدا افزایش X/L باعث افزایش کارایی آبشکن می‌شود. با افزایش X/L این روند افزایشی ادامه پیدا کرده تا کارایی آبشکن به بالاترین حد خود می‌رسد. سپس پارامتر Pr روند کاهشی به خود گرفته و با افزایش X/L، کارایی آبشکن کاهش پیدا می‌کند. این نتیجه‌گیری را می‌توان به این صورت نیز بیان نمود که با افزایش فاصله بی‌بعد آبشکن از تکیه‌گاه، کارایی آبشکن افزایش می‌یابد تا فاصله‌ای که کارایی به بیشترین مقدار خود می‌رسد.



شکل ۵ - تغییرات درصد کارایی شکل‌های مختلف آبشکن به ازای تغییرات پارامتر X/L در شرایط Ls/L=0.25



شکل ۶ - تغییرات درصد کارایی شکل‌های مختلف آبشکن به ازای تغییرات پارامتر X/L در شرایط Ls/L=0.5



شکل ۷- تغییرات درصد کارایی شکل‌های مختلف آبشکن به ازای تغییرات پارامتر  $X/L$  در شرایط  $L_s/L=0.75$

مرکز کانال حرکت می‌کنند. در واقع وجود آبشکن باعث می‌شود خطوط جریان همگرا شده و به عبارت دیگر جریان منقبض شود. بیشترین حالت انقباض در پایین دست و با یک مقدار فاصله از آبشکن به وقوع می‌پیوندد. پس از آن جریان دوباره شروع به باز شدن کرده و به حالت اولیه خود بازمی‌گردد هر چه میزان انقباض جریان در هنگام برخورد با تکیه‌گاه بیش تر بوده و جریان برخورد کم‌تری با تکیه‌گاه داشته باشد میزان آبشستگی بیشتر کاهش می‌یابد. با این توضیح می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که یک آبشکن با طول ثابت در فاصله‌ای بیشترین تأثیر را بر آبشستگی تکیه‌گاه خواهد داشت که جریان منحرف شده ناشی از برخورد با آبشکن در هنگام رسیدن به تکیه‌گاه بیشترین انقباض را داشته باشد. این فاصله در واقع همان فاصله  $X_0$  است. با قرارگیری آبشکن در فاصله  $X_0$  از تکیه‌گاه آبشستگی در تکیه‌گاه به کم‌ترین میزان خود رسیده و آبشکن بیشترین تأثیر را بر آبشستگی تکیه‌گاه دارد. در جدول ۲ بیشترین میزان کارایی آبشکن و همچنین مقدار پارامتر  $X_0/L$  در مقادیر مختلف  $L_s/L$  برای آبشکن ساده نشان داده شده است.

از این فاصله به بعد با افزایش فاصله، کارایی آبشکن کاهش پیدا کرده و از میزان تأثیر آبشکن بر تکیه‌گاه کاسته می‌شود. در این پژوهش این فاصله که در آن آبشکن بیش‌ترین اثر را بر آبشستگی تکیه‌گاه داشته و به ابعاد و شکل آبشکن وابسته است با نماد  $X_0$  نشان داده می‌شود. در ادامه این پژوهش با استفاده از نمودارهای شکل‌های ۵ تا ۷ به بررسی دقیق‌تر تأثیر قرارگیری آبشکن‌های مختلف بر میزان آبشستگی تکیه‌گاه می‌پردازیم:

### آبشکن ساده

مقدار پارامتر  $Pr$  نشان می‌دهد با قرارگیری آبشکن ساده در بالادست تکیه‌گاه، آبشستگی تکیه‌گاه در مقایسه با آزمایش شاهد کاهش یافته است. کم‌ترین میزان کاهش آبشستگی  $31/6$  درصد و بیشترین مقدار آن نیز برابر با  $80/5$  درصد است. آبشکن ساده با منحرف کردن جریان به سمت ساحل مقابل درواقع خطوط جریان را از تکیه‌گاه و دماغه آن دور کرده و با هدایت آن‌ها به سمت خط مرکزی کانال باعث کاهش میزان آبشستگی در تکیه‌گاه می‌شود. خطوط جریان پس از برخورد با آبشکن منحرف شده و به‌طرف

جدول ۲- مقدار پارامتر  $X_0/L$  و حداکثر کارایی آبشکن به ازای طول‌های مختلف آبشکن ساده

پارامتر	$L_s/L=0/75$	$L_s/L=0/5$	$L_s/L=0/25$
$X_0/L$	$0/75$	۱	$1/25$
حداکثر کارایی آبشکن $Pr\%$	$80/5$	$61/23$	$52/8$

است به بیان دیگر با افزایش طول آبشکن فاصله‌ای که در آن آبشکن تأثیر حداکثری بر آبشستگی تکیه‌گاه را دارد کاهش می‌یابد.

### آبشکن L شکل با زبانه رو به بالادست

قرارگیری این نوع آبشکن در بالادست تکیه‌گاه آبشستگی در

آنچه از بررسی این جدول به دست می‌آید این است که اولاً با افزایش طول آبشکن میزان تأثیر آبشکن بر کاهش آبشستگی تکیه‌گاه افزایش پیدا کرده است به طوری که با افزایش پارامتر  $L_s/L$  از مقدار  $0/25$  به  $0/75$ ، حداکثر کارایی آبشکن از  $52/8$  درصد به  $80/5$  درصد رسیده است. ثانیاً با افزایش  $L_s/L$ ، پارامتر  $X_0/L$  کاهش پیدا کرده

قرارگیری در راستای جریان باعث می‌شود جریان پس از برخورد با آبشکن همچنان راستای حرکت خود را حفظ کرده و انحراف کمتری پیدا کند. انحراف کم‌تر جریان برخورد بیش‌تر جریان با تکیه‌گاه و افزایش آبستتگی را به دنبال خواهد داشت.

جدول ۳ بیشترین میزان کارایی و همچنین مقدار پارامتر  $Xo/L$  در مقادیر مختلف  $Ls/L$  را برای این نوع آبشکن نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقدار پارامتر  $Xo/L$  و حداکثر کارایی آبشکن به ازای طول‌های مختلف آبشکن با زبانه بالادست

پارامتر	$Ls/L=0/75$	$Ls/L=0/50$	$Ls/L=0/25$	$Xo/L$
حداکثر کارایی آبشکن Pr%	۷۷/۸	۵۹/۲	۴۶/۵	۱

با عملکرد آبشکن با بال بالادست باشد اما در عمل همان‌طور که در نمودارهای شکل‌های ۵ تا ۷ مشخص است نمودار این آبشکن بالاتر از نمودارهای آبشکن‌های ساده و زبانه بالادست قرار دارد. به این معنی که این آبشکن آبستتگی در تکیه‌گاه را بیشتر از دو نوع دیگر کاهش داده است. بااینکه آبشکن ساده و  $L$  شکل با بال بالادست در بهترین حالت توانستند آبستتگی را به ترتیب  $80/5$  و  $77/8$  درصد کاهش دهند آبشکن  $L$  شکل با زبانه پایین دست آبستتگی را تا  $96/2$  درصد کاهش داده است. علت این افزایش تأثیرگذاری را می‌توان این دانست که بال پایین دست آبشکن باعث ایجاد یک منطقه آرامش و سکون مابین آبشکن و تکیه‌گاه می‌شود. ایجاد این منطقه آرامش بر آبستتگی تکیه‌گاه تأثیر گذاشته و مقدار آن را کاهش می‌دهد؛ بنابراین وجود بال پایین دست برعکس بال بالادست بر عملکرد آبشکن تأثیر مثبت داشته است. در جدول ۴ بیشترین درصد کاهش آبستتگی نسبت به آزمایش شاهد (کارایی آبشکن) و همچنین مقدار پارامتر  $Xo/L$  در مقادیر مختلف  $Ls/L$  برای این نوع آبشکن نشان داده شده است.

تکیه‌گاه را از  $24/7$  تا  $77/8$  درصد کاهش داده است. همان‌طور که در شکل‌های ۵ تا ۷ مشخص است نمودار مربوط به این نوع آبشکن پایین‌تر از نمودار آبشکن ساده قرار گرفته است. در نتیجه در مقایسه با آبشکن ساده این نوع آبشکن کارایی کمتری در کاهش آبستتگی تکیه‌گاه داشته است. به بیان دیگر با اضافه شدن یک بال بالادست به آبشکن ساده از میزان تأثیر آبشکن بر آبستتگی تکیه‌گاه کاسته شده است. علت این امر را می‌توان این عامل دانست که بال آبشکن با

همان‌طور که در جدول ۳ می‌بینیم مقادیر پارامتر  $Xo/L$  برای آبشکن  $L$  شکل با زبانه بالادست در مقایسه با آبشکن ساده افزایش داشته است در واقع حداکثر میزان کارایی این نوع آبشکن در فاصله بیشتری رخ داده است. هرچند وجود بال باعث انحراف و انقباض کمتر جریان پس از برخورد با آبشکن می‌شود اما از طرف دیگر از بازشدگی مجدد جریان جلوگیری کرده و در نتیجه جریان در فاصله دورتری از آبشکن باز شده و به حالت اولیه خود برمی‌گردد.

#### آبشکن $L$ شکل با زبانه رو به پایین دست

قرار گرفتن آبشکن  $L$  شکل با زبانه پایین دست کاهش میزان کاهش آبستتگی در تکیه‌گاه را در پی داشته است. وجود این نوع آبشکن آبستتگی در تکیه‌گاه را از  $69$  تا  $96/2$  درصد نسبت به آزمایش شاهد کاهش داده است. این نوع آبشکن نیز مانند آبشکن  $L$  با زبانه بالادست دارای بال بوده و تمامی مواردی که در مورد بال آبشکن بر جریان بیان شد در مورد این نوع آبشکن نیز صدق می‌نماید. پس قاعدتاً وجود بال باید تأثیر منفی بر عملکرد آبشکن داشته باشد و تأثیر این نوع آبشکن از تأثیر آبشکن ساده کمتر و مشابه

جدول ۴- مقدار پارامتر  $Xo/L$  و حداکثر کارایی آبشکن به ازای طول‌های مختلف آبشکن با زبانه پایین دست

پارامتر	$Ls/L=0/75$	$Ls/L=0/50$	$Ls/L=0/25$	$Xo/L$
حداکثر کارایی آبشکن Pr%	۹۶/۲	۷۷	۶۹	۱

#### آبشکن $T$ شکل

این شکل از آبشکن نیز توانسته است بر آبستتگی تکیه‌گاه تأثیر گذاشته و میزان آن را کاهش دهد. آبشکن  $T$  شکل آبستتگی را حداقل  $39/7$  درصد و حداکثر  $92/8$  درصد کاهش داده است. نمودار مربوط به این نوع از آبشکن در شکل‌های ۵ تا ۷ مابین نمودار آبشکن

بااینکه حداکثر درصد کاهش آبستتگی تکیه‌گاه در این آبشکن نسبت به آبشکن  $L$  شکل با زبانه بالادست بیشتر است اما مقادیر پارامتر  $Xo/L$  برای این دو نوع آبشکن برابر است.



به عبارت دیگر اگر اثر مثبت بال پایین دست با اثر منفی بال بالادست برابر بود باید این دو بال یکدیگر را خنثی کرده و آبشکن عملکردی مشابه آبشکن ساده داشته باشد اما مشاهده می‌شود که عملکرد این نوع از آبشکن در مقایسه با آبشکن ساده بهبود یافته است و این بهبود عملکرد به خاطر وجود بال پایین دست است. جدول ۵ بیشترین درصد کاهش آبشستگی نسبت به آزمایش شاهد (کارایی آبشکن) و نیز مقدار پارامتر  $Xo/L$  در مقادیر مختلف  $Ls/L$  را برای آبشکن T شکل نشان می‌دهد.

L شکل با زبانه پایین دست و آبشکن ساده قرار دارد. به این معنی که تأثیرگذاری این نوع آبشکن از آبشکن ساده بیشتر و از آبشکن L شکل با زبانه پایین دست کمتر بوده است. آبشکن T شکل با داشتن هر دو بال بالادست و پایین دست خصوصیات آبشکن‌های L شکل زبانه بالادست و زبانه پایین دست را دارا است؛ یعنی از یک طرف وجود بال بالادست موجب کاهش عملکرد آبشکن می‌شود و از طرف دیگر بال پایین دست عملکرد آن را بهبود می‌بخشد. اینکه این شکل آبشکن از آبشکن ساده عملکرد بهتری داشته است بیانگر این موضوع است که میزان تأثیرگذاری بال پایین دست از بال بالادست بیشتر بوده است

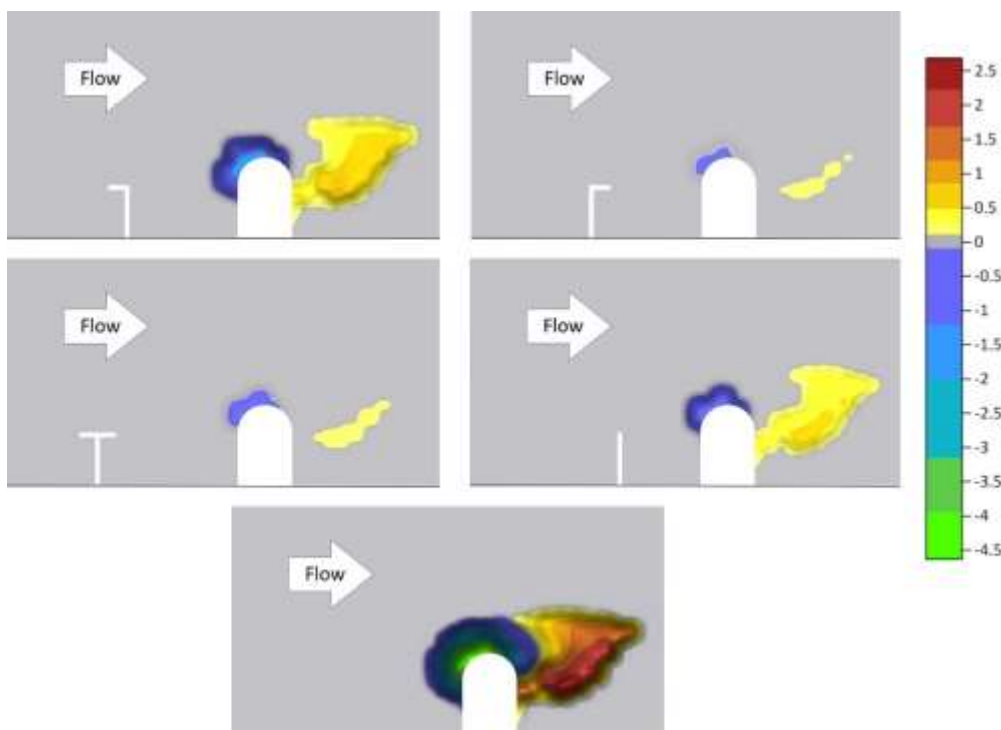
جدول ۵- مقدار پارامتر  $Xo/L$  و حداکثر کارایی آبشکن به ازای طول‌های مختلف آبشکن T شکل

پارامتر	$Ls/L=0/25$	$Ls/L=0/5$	$Ls/L=0/75$
$Xo/L$	۱/۷۵	۱/۵	۱/۲۵
حداکثر کارایی آبشکن Pr%	۶۶	۷۲/۲	۹۲/۸

بر آبشستگی تکیه‌گاه افزایش پیدا کرده و آبشستگی در تکیه‌گاه کاهش بیشتری داشته است. این امر را می‌توان به این علت دانست که آبشکن با طول بیش تر اولاً تأثیر بیش تری بر انحراف جریان و دور کردن آن از تکیه‌گاه دارد دوماً افزایش طول آبشکن باعث گسترش منطقه آرامش جریان در بالادست تکیه‌گاه می‌شود.

مقایسه جدول ۵ با جدول‌های ۲ تا ۴ نشان می‌دهد که پارامتر  $Xo/L$  برای آبشکن T شکل در مقایسه با انواع دیگر آبشکن دارای مقدار بیشتری است.

جدول‌های ۲ تا ۵ نشان می‌دهد که در تمامی شکل‌های آبشکن با افزایش پارامتر  $Ls/L$  آبشستگی در تکیه‌گاه کاهش پیدا کرده است؛ به عبارت دیگر با افزایش طول بی بعد آبشکن میزان اثرگذاری آبشکن



شکل ۸- ابعاد آبشستگی ایجادشده پیرامون تکیه‌گاه در حضور شکل‌های مختلف آبشکن و بدون حضور آبشکن

به منظور دریافت درک بهتر از میزان کارایی هر کدام از آبشکن‌ها، در شکل ۸، توپوگرافی آبشستگی ایجادشده پیرامون تکیه‌گاه در حضور هر شکل آبشکن (حالت حداکثر کارایی هر شکل آبشکن) و همچنین بدون حضور آبشکن به صورت سه‌بعدی نشان داده شده است. لازم به ذکر است توپوگرافی آبشستگی ایجاد شده در اطراف آبشکن‌ها از شکل حذف شده است.

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان راه‌حلی مؤثر برای مشکل آبشستگی تکیه‌گاه‌های پل قرارگرفته در دشت‌های سیلابی، مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد که کارگذاری آبشکن منفرد در چهار شکل رایج آن می‌تواند آبشستگی در تکیه‌گاه پل را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد. جدول ۶ حداکثر میزان کاهش آبشستگی تکیه‌گاه را در حضور آبشکن با شکل‌های مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۶- حداکثر درصد کاهش آبشستگی تکیه‌گاه در حضور آبشکن‌های مختلف

شکل آبشکن	حداکثر درصد کاهش آبشستگی
آبشکن L با زبانه پایین‌دست	۹۶/۲
آبشکن T شکل	۹۲/۸
آبشکن ساده	۸۰/۵
آبشکن L با زبانه بالادست	۷۷/۸

همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده است آبشکن L با زبانه پایین‌دست، آبشکن T شکل، آبشکن‌های ساده و آبشکن L با زبانه بالادست به ترتیب دارای بیش‌ترین میزان تأثیرگذاری بر آبشستگی تکیه‌گاه هستند. اضافه کردن یک بال پایین‌دست به آبشکن ساده موجب افزایش ۱۶ درصدی کارایی این آبشکن می‌شود. بال بالادست تأثیر منفی بر کارایی آبشکن داشته و از تأثیر آبشکن بر آبشستگی تکیه‌گاه می‌کاهد.

حداکثر تأثیر آبشکن بر آبشستگی تکیه‌گاه با قرارگیری آبشکن در فاصله‌ای خاص از تکیه‌گاه رخ خواهد داد. این فاصله را که فاصله بهینه می‌نامیم وابسته به شکل و همین‌طور ابعاد آبشکن است. در مقایسه با سایر آبشکن‌ها آبشکن ساده و آبشکن T شکل به ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین فاصله بهینه هستند. فاصله بهینه برای آبشکن‌های L شکل با زبانه بالادست و آبشکن‌های L شکل با زبانه پایین‌دست نیز با یکدیگر برابر است. این نتیجه نشان می‌دهد که جهت بال آبشکن تأثیری بر اندازه فاصله بهینه ندارد. در انتخاب نوع آبشکن محافظ مناسب برای کنترل میزان

آبشستگی در تکیه‌گاه، علاوه بر حداکثر میزان تأثیرگذاری باید به مسائل اجرایی و همچنین اقتصادی نیز توجه داشت. به‌طور مثال باینکه آبشکن‌های L شکل با زبانه پایین‌دست و آبشکن T شکل در مقایسه با آبشکن ساده تأثیرگذاری بیش‌تری بر آبشستگی تکیه‌گاه دارند ولی ساخت آبشکن‌های ساده از نظر اجرایی ساده‌تر و مقرون به‌صرفه‌تر است.

## منابع

- اژدری، خ.، امامقلی‌زاده، ص. و رضایی، ح. ۱۳۹۶. مطالعه آزمایشگاهی اثر آبشکن T شکل نامتقارن در مقطع مرکب بر کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. ۲۴ (۱): ۲۹۵-۳۰۱.
- امامقلی‌زاده، ص. و نوحانی، ا. ۱۳۹۶. کاربرد پره‌های مستغرق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل با دماغه گرد. تحقیقات مهندسی آبیاری و زهکشی. ۱۸ (۶۸): ۱۱۳-۱۲۸.
- خادمی، خ.، شفاعی‌بجستان، م. و خزیمه‌نژاد، خ. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی تأثیر نصب تیغه متصل به تکیه‌گاه پل بر آبشستگی موضعی و الگوی جریان. نشریه پژوهش‌های آب‌وخاک. ۲۲ (۶): ۱۸۷-۲۰۱.
- خزیمه‌نژاد، ح.، قمشی، م.، شفاعی‌بجستان، م. و رضایی، ی. ۱۳۹۵. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل با مقطع مستطیلی. نشریه پژوهش‌های آب‌وخاک. ۲۲ (۱): ۹۱-۱۱۰.
- سعادت‌نیا، م.، خداشناس، س.ر.، صانعی، م. و اسماعیلی، ک. ۱۳۹۷. بررسی آزمایشگاهی تأثیر آبشکن محافظ بر میزان آبشستگی دماغه تکیه‌گاه پل در مقطع مرکب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲ (۴): ۷۶۳-۷۷۴.
- شهسواری، ح. و حیدرپور، م. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر زبری‌های موضعی در کنترل و کاهش آبشستگی موضعی تکیه‌گاه پل. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴۱ (۳): ۴۲۹-۴۴۴.
- صانعی، م.، ساغروانی، س.ف. و بصیرت، شمس. ۱۳۹۱. کاهش میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل با استفاده از آبشکن محافظ. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۶ (۱۸): ۱۱-۱۶.
- محمدپور، س. و شفاعی‌بجستان، م. ۱۳۹۶. بررسی گستره کارگزاری المان‌های شش پایه به منظور کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل. مجله علوم مهندسی آبیاری. ۴۰ (۱): ۲۵-۳۵.
- ناظری، ا. ۱۳۹۱. بررسی اثر آبشکن سرسپری متقارن بر کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل واقع در دشت سیلابی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

- collars as a scour countermeasure around wing-wall abutments. *Water Science and Engineering*. 11.1: 53-60.
- Korkut, R., Martinez, E.J., Morales, R., Ettema, R. and Barkdoll, B. 2007. Geobag performance as scour countermeasure for bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*. 133.4: 431-439.
- Melville, B.W. 1995. Bridge abutment scour in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering*. 121. 12: 863-868.
- Raudkivi, A. 1998. *Loose boundary hydraulics*. AA Balkema, Rotterdam. 496 PP.
- Sehat, M., Kamanbedast, A.A., Bordbar, A., Masjedi, A. and Heidarnejad, M. 2020. The study of convergent and divergent slots on scour reduction around abutment. *Ain Shams Engineering Journal*. Available Online.
- Zolghadr, M. and Shafai Bejestan, M. 2020. Six Legged Concrete (SLC) elements as scour countermeasures at wing wall bridge abutments. *International Journal of River Basin Management*. Available Online.
- Cardoso, A.H., Simarro, G., Le Doucen, O. and Schleiss, A. 2010. Sizing of riprap for spill-through abutments, in: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, Thomas Telford Ltd, pp. 499-507.
- Dehghani, A., Azamathulla, H.M., Najafi, S.H. and Ayoubzadeh, S. 2013. Local scouring around L-head groynes. *Journal of hydrology*. 504: 125-131.
- Dey, S. and Barbhuiya, A.K. 2005. Time variation of scour at abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*. 131.1: 11-23.
- EL-Ghorab, E.A. 2013. Reduction of scour around bridge piers using a modified method for vortex reduction. *Alexandria Engineering Journal*. 52.3: 467-478.
- Hong, S.H. and Abid, I. 2019. Scour around an erodible abutment with riprap apron over time. *Journal of Hydraulic Engineering*. 145. 6.
- Khosravinia, P., Malekpour, A., Hosseinzadehdalir, A. and Farsadizadeh, D. 2018 Effect of trapezoidal

## The Effect of Different Spur Dike Shapes on Bridge Abutment Scour in Compound Channel

S. Emamgholizadeh<sup>1</sup>, A. Nazeri<sup>2\*</sup>, KH, Azhdary<sup>3</sup>

Received: Nov.25, 2020

Accepted: Jan.02, 2021

### Abstract

Scouring is one of the most important factors threatening the stability of bridge abutments on rivers. Most of bridge abutments are located in floodplains. In the present study, the effects of four different single spur dike shapes including the simple spur dike, T-shaped spur dike, L-shaped spur dike with a clapper toward downstream, and L-shaped dike with a clapper toward upstream on the maximum scour depth at the abutment of a bridge, are studied. The present study was conducted on a rectangular flume with a width of 1m, a length of 12m, and a height of 60cm. The compound channel was constructed in a symmetrical and rectangular shape with the width of the main channel 20 cm and the width of the floodplains 40 cm. Spur dikes with three lengths including the 4, 8, and 12-cm lengths were installed as single spur dikes at 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 and 32-cm distances from the abutment. The results indicated that the simple spur dike, the T-shaped spur dike, the L-shaped spur dike with a clapper toward downstream and the L-shaped spur dike with a clapper toward upstream reduced the maximum scour depth at the abutment by 80%, 93%, 96% and 78% respectively.

**Keywords:** Abutment, Experimental model, Flood plain, Local scour, Spur dike

1- Associate Professor, Department of Water and Soil, Shahrood University of Technology, Iran

2- M.Sc. Graduate, Department of Water and Soil, Shahrood University of Technology, Iran

3- Associate Professor, Department of Water and Soil, Shahrood University of Technology, Iran

(\*- Corresponding Author Email: aminnazeri97@gmail.com )