

## اثر آبشکن بر کاهش عمق آبشستگی اطراف پایه پل‌ها در پیچ رودخانه‌ها

معصومه زارع و تورج هنر<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۳۰)

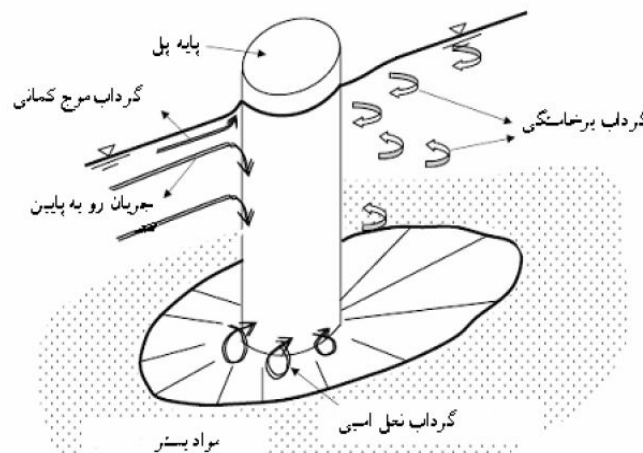
### چکیده

مهم‌ترین دلیل نگرانی، در خصوص پایداری پل‌ها، وقوع آبشستگی موضعی در اطراف آنهاست. از اینرو روش‌های مختلفی برای جلوگیری و یا کاهش عمق آبشستگی اطراف پایه پل‌ها ارایه شده است. استفاده از آبشکن از جمله شیوه‌های نوین کنترل و کاهش آبشستگی موضعی می‌باشد. در مطالعه حاضر تأثیر استفاده از یک آبشکن نفوذناپذیر در کنترل آبشستگی موضعی اطراف پایه پل استوانه‌ای شکل مستقر در قوس یک کانال آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایشات برای آبشکن با سه زاویه قرارگیری ۹۰، ۵۰ و ۱۲۰ درجه نسبت به کرانه پایین دست در سه دبی ۴۷، ۴۹ و ۵۱ لیتر در ثانیه، در شرایط آب زلال انجام شد. نتایج حاصله نشان داد در کلیه نسبت‌های سرعت به سرعت بحرانی و همه زوایای قرارگیری آبشکن، آبشستگی در اطراف پایه پل نسبت به حالت شاهد کاهش می‌یابد. همچنین در همه نسبت‌های سرعت به سرعت بحرانی بهترین عملکرد مربوط به آبشکن عمودی می‌باشد و میانگین عملکرد آبشکن دافع نسبت به آبشکن جاذب بهتر و مطلوب‌تر است اما با افزایش دبی و به تبع آن نسبت سرعت به سرعت بحرانی از تأثیر آبشکن عمودی کاسته شد و در مقابل آن عملکرد آبشکن جاذب بهبود می‌یابد. بهترین عملکرد مربوط به آبشکن عمودی در نسبت سرعت به سرعت بحرانی برابر با ۰/۸۴، می‌باشد که موجب کاهش ۷۱/۴۲ درصدی آبشستگی در اطراف پایه پل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، آبشکن، پایه پل، پیچ رودخانه

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: toorajhonar@yahoo.com



شکل ۱. نمایشی از سیستم‌های گردابی پیرامون پایه پل

## مقدمه

پل‌ها در برقراری راه‌های ارتباطی از اهمیت زیادی برخوردارند. همه ساله هزاران پل در سراسر جهان به دلیل عدم درک صحیح از هیدرولیک جریان اطراف پایه و رعایت نکردن ملاحظات فنی در طراحی و اجرای آنها تخریب می‌شوند که دلیل عمده آن آبشستگی موضعی می‌باشد. تخریب و خسارت وارده به پل‌ها که اغلب در هنگام سیلاب رخ می‌دهد، علاوه بر ضررهای مالی، به علت قطع راه‌های ارتباطی، کمک به مناطق سیل زده را مختل نموده و از این نظر عواقب اجتماعی نیز به دنبال دارد.

ضرورت بررسی پدیده آبشستگی زمانی آشکار می‌گردد که عمق آبشستگی قابل ملاحظه باشد به گونه‌ای که این عمق به پی سازه‌های رودخانه‌ای برسد و پایداری این سازه‌ها را در معرض خطر قرار دهد و نهایتاً موجب تخریب آنها گردد. در ایران بر طبق آمار ارائه شده مشکل آبشستگی موضعی در پایه‌های پل عامل اصلی تخریب آنها می‌باشد. تحقیقات انجام شده در هشت منطقه و استان کشور نشان می‌دهد که ۴۲٪ از پل‌های این محدوده دچار آبشستگی شده‌اند. همچنین نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که از تعداد کل پل‌ها که نیاز به مرمت و تعمیر دارند، ۵۷٪ آنها به جهت آبشستگی نیاز به تعمیرات دارند (۴).

بنابراین شناخت این پدیده، پیش‌بینی میزان آن و لحاظ

کردن آن در طراحی پل‌ها و مهم‌تر از همه به کار بردن تمهیدات لازم برای کنترل و کاهش آبشستگی، موضعی امری بسیار ضروری می‌باشد. مکانیسم عمل آبشستگی موضعی به این صورت است که پس از برخورد جریان به پایه پل، با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود، فشار بیشتری در ترازهای بالاتر بر روی پایه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادین فشاری روی پایه از بالا به پایین به وجود می‌آید که خود باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در عقب پایه می‌شود. جریان رو به پایین در حین برخورد به بستر رودخانه، ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود. با حفر بستر در عقب پایه، این جریان وارد حفره شده و به طرف بالا گرداب‌هایی با نام گرداب نعل اسبی ایجاد می‌نماید. از سوی دیگر، جریان برخورد کرده به پایه در کناره آن از پایه جدا می‌گردد و موجب ایجاد گرداب‌هایی می‌شود که محور آنها عمود بر بستر رودخانه می‌باشد. این گرداب‌ها با عنوان گرداب برخاستگی، همچون گردباد ذرات بستر را به سمت بالا مکیده و در معرض جریان قرار می‌دهند و به این ترتیب به حمل مصالح کنده شده از جلو و اطراف پایه به سمت پایین دست کمک می‌نماید و در عین حال نیز یک حفره آبشستگی مستقل در پایین دست پایه ایجاد می‌گردد (شکل ۱).

به‌طور کلی روش‌های مقابله با آبشستگی در دو دسته تقسیم

می‌شوند: ۱- روش‌های مستقیم ۲- روش‌های غیرمستقیم. در روش اول، مقاومت بستر، در برابر تنش‌های وارده افزایش می‌یابد که از جمله روش اجرایی آن می‌توان به عملیات سنگچین اشاره کرد اما در روش دوم، الگوی جریان‌های مخرب در اطراف پایه را تغییر می‌دهند. مانند استفاده از کابل، طوق و ... که در این زمینه مطالعات زیادی توسط محققین مختلف صورت گرفته است. به‌طور مثال سینگ و همکاران (۲۳) عملکرد طوق را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایش آنان نشان داد که چنانچه فاصله بین تراز بستر و تراز نصب طوق افزایش یابد، ماکزیم عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. لذا بهترین محل نصب طوق در آزمایش‌ها برابر  $0/1$  قطر پایه (D) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوق به قطر دو برابر قطر پایه، که مقدار آبشستگی را ۹۱ درصد کاهش می‌دهد، پیشنهاد گردید. همچنین طوق‌هایی با قطرهای  $1/5$ ،  $2$  و  $2/5$  برابر قطر پایه روی بستر، به میزان  $50\%$ ،  $68\%$  و  $100\%$  نسبت به پایه بدون محافظ آبشستگی را کاهش می‌دهند. عقلی و زمردیان (۹) با بررسی تأثیر همزمان طوق و کابل بر کاهش میزان آبشستگی پایه پل در قوس رودخانه‌ها، به‌این نتیجه رسیدند که با افزایش قطر کابل، آبشستگی بیشتر کاهش می‌یابد و بیشترین مقدار در کاهش آبشستگی، ۵۹ درصد می‌باشد. همچنین طوق در بهترین حالت ۵۵ درصد و طوق و کابل توأم، حداکثر  $69/7$  درصد عمق آبشستگی را کاهش می‌دهند. نتایج تحقیقات زراتی و همکاران (۶) بر کاهش آبشستگی موضعی با استفاده از سه مدل طوق به هم پیوسته، مجزا و به هم پیوسته همراه با سنگچین در گروه پایه‌های استوانه‌ای، نشان داد که در گروه پایه دوتایی که در جهت جریان قرار گرفته‌اند طوق پیوسته همراه با سنگچین بیشترین تأثیر را داشته و آبشستگی را در حدود  $50$  تا  $60$  درصد به ترتیب در پایه جلویی و عقبی کاهش می‌دهد. مسجدی و همکاران (۱۷) با مطالعه بر روی اثر طوق در کاهش عمق آبشستگی اطراف پایه‌های مستطیلی در خم  $180^\circ$  درجه، به‌این نتیجه رسیدند که نصب یک طوق به اندازه ۳ برابر عرض پایه در عمق  $0/1$  عرض پایه زیر بستر، عمق آبشستگی را حدود ۹۵

درصد نسبت به حالت بدون طوق کاهش می‌دهد. حیدرپور و همکاران (۱۴) نیز، اثر طوق در کاهش عمق آبشستگی اطراف گروه پایه‌ها را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که اثر طوق در کاهش عمق آبشستگی در پایه‌های عقبی بسیار آشکارتر از اولین پایه است و همچنین با افزایش فاصله بین پایه‌ها عمق آبشستگی نیز افزایش می‌یابد. در زمینه ایجاد شکاف، حیدرنازاد و همکاران (۱۳)، به‌این نتیجه رسیدند که شکاف‌هایی با طول بیشتر که از سطح بستر شروع می‌شوند عمق آبشستگی را بیشتر کاهش می‌دهند. در مطالعاتی که توسط حیدرپور و همکاران (۳) نیز صورت گرفت، اثر شکاف روی عمق آبشستگی بررسی شد. در این مطالعه طول شکاف برابر عرض پایه و دو برابر آن در نظر گرفته شد. در سری اول از آزمایشات شکاف‌ها در نزدیکی بستر و در سری دوم در نزدیکی سطح آب قرارگرفت و نتایج حاصل نشان داد که حداکثر کاهش آبشستگی به‌وسیله شکاف‌هایی به اندازه دو برابر عرض پایه و در موقعیتی نزدیک به سطح بستر اتفاق می‌افتد. همچنین کارایی شکاف در کنترل آبشستگی موضعی نیز برای یک پایه مستطیلی پیشانی گرد بیشتر از یک پایه استوانه‌ای است.

در تحقیق دیگری که توسط خاویز اکپام و مزومدار (۱۵) روی اثر پیچش کابل در اطراف پایه‌های پل صورت گرفت، مشخص گردید که نقش کابل در منحرف کردن جریان‌ات رو به پایین و تضعیف قدرت گردابه‌های نعل اسبی می‌باشد. همچنین عمق آبشستگی با افزایش قطر کابل و تعداد دورهای آن در اطراف پایه کاهش می‌یابد. دی و همکاران (۱۱)، دو زاویه  $15^\circ$  و  $30^\circ$  درجه را برای بستن کابل دور پایه مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفتند با افزایش زاویه میزان عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. دبردانی و همکاران (۵) نیز در تحقیقات خود، صفحات مستغرق با طول‌های متفاوت را به کار بردند به‌طوری‌که طول این صفحات مضربی از قطر پایه بود، نتایج حاصل نشان داد که کاربرد صفحات مستغرق با طول  $0/5$  برابر قطر پایه بهترین نتیجه را در کاهش عمق آبشستگی دارد.

از دیگر روش‌های کاهش آبشستگی استفاده از آبشکن‌ها



شکل ۲. قوس محل آزمایش

و تأثیر تغییر زاویه قرار گیری آبشکن بر میزان آبشستگی اطراف پایه در سه دبی متفاوت بررسی گردید.

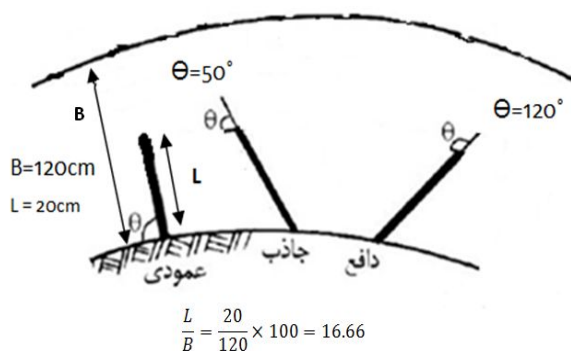
### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی قوسدار (مثاندر) با مقطع مستطیلی به طول ۶۰ متر، عرض ۱/۲ متر، انحناء نسبی ۲ با کف بتونی در شیب ۰/۰۰۱ با دیواره فولادی به ارتفاع ۰/۴ متر واقع در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد (شکل ۲).

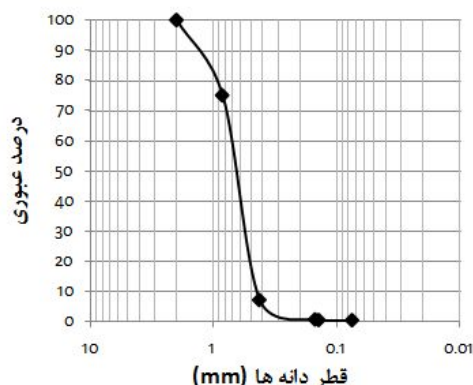
برای جلوگیری از شسته شدن رسوبات قرار گرفته در بخشی از قوس که مدل در آن قرار می‌گیرد، صفحات فلزی پایه‌داری در بالادست و پایین‌دست این قسمت نصب شد، به‌طوری‌که سطح این صفحات فلزی هم سطح رسوبات گردد. ضمناً جهت از بین بردن تفاوت زبری میان بستر رسوبات و صفحات در نظر گرفته شده، لایه نازکی از رسوبات به‌وسیله چسب روی این صفحات چسبانده شد. آزمایشات در سه دبی ۴۷ و ۴۹ و ۵۱ لیتر بر ثانیه انجام شد که برای حصول حداکثر عمق آبشستگی ( $ds$ )، عمق آب به گونه‌ای تنظیم شد تا نسبت سرعت جریان ( $u$ ) به سرعت بحرانی ( $u_c$ ) کمتر از ۰/۹۵ شده و شرایط آبشستگی آب زلال برقرار شود (۲۱). از اینرو عمق آب در کلیه آزمایشات ۱۳/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که این عمل توسط یک دریچه کشویی تعبیه شده در پایین‌دست قوس انجام پذیرفت. با استفاده از معادلات ملویل (۱۸) و ملویل و

می‌باشد که از جمله تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعات بصیرت و همکاران (۱) بر تأثیر آبشکن بر کاهش میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل در کانال مستقیم، اشاره کرد. آنها در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که میزان آبشستگی با افزایش فاصله آبشکن محافظ از تکیه‌گاه پل، افزایش می‌یابد و با افزایش طول آبشکن محافظ، کاهش پیدا می‌کند. سعادت‌نیا و همکاران (۸) نیز با بررسی عملکرد آبشکن بر کاهش عمق و حجم آبشستگی اطراف دماغه پل در یک کانال مرکب و مستقیم، دریافتند که آبشکن محافظ قادر به کاهش ۹۵ درصدی عمق آبشستگی می‌باشد.

با توجه به مطالب گفته شده در طی سال‌های گذشته، ارائه راه‌حل‌هایی جهت کاهش عمق آبشستگی مورد توجه محققین زیادی بوده است اما استفاده از آبشکن برای کنترل آبشستگی سابقه چندانی ندارد و تاکنون پژوهش‌های کمی در این راستا صورت گرفته، که همه در زمینه استفاده از آبشکن جهت کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل در بازه‌های مستقیم می‌باشد. اما از آنجایی که ممکن است به علت محدودیت‌های احداث راه و یا عدم پایداری رودخانه در بازه‌های مستقیم، مجبور به احداث پل در قوس رودخانه شویم، ضرورت دانسته شد که اثر آبشکن بر عمق آبشستگی در اطراف پایه‌های پل در قوس رودخانه‌ها که تاکنون بررسی نشده است، مورد مطالعه قرار گیرد. بنابراین در این تحقیق از یک آبشکن مستقیم، جهت کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه پل قرار گرفته در قوس رودخانه، استفاده می‌شود



شکل ۴. آرایش قرارگیری آبشکن در رودخانه



شکل ۳. منحنی دانه‌بندی رسوبات

بستر ۱۶ سانتی متر در نظر گرفته شد (رابطه ۶).

$$\frac{d_s}{d} = 2/75 \left( \frac{b}{d} \right) \left[ \left( \frac{b}{11/5d} + 1 \right)^{1.69} - 1 \right], d = 13/5 \text{ cm}, \quad [6]$$

$$b = 20 \text{ cm} \rightarrow d_s = 12/48 \text{ cm}$$

در این رابطه  $d_s$  حداکثر عمق تعادلی آبشستگی،  $d$  عمق متوسط جریان در بازه بالادست و  $b$  طول مؤثر آبشکن می‌باشد.

برای جلوگیری از تأثیر عمق جریان بر آبشستگی موضعی بنا به توصیه رادکیوی و اتما (۲۲) نسبت عمق جریان به قطر پایه بزرگ‌تر از ۳، در نظر گرفته شد، از اینرو قطر پایه ۴/۵ سانتی متر انتخاب گردید. طبق معیار رادکیوی و اتما (۲۲) برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی در اطراف پایه، نسبت فاصله محور پایه تا دیواره کانال به قطر پایه باید از ۶/۲۵ بزرگ‌تر باشد. براین اساس پایه پل در فاصله یک سوم عرض کانال یعنی ۴۰ سانتی متری از دیواره قرار گرفت و این نسبت برابر ۸/۸۸ حاصل شد. به منظور کاهش عمق آبشستگی (d) اطراف پایه، یک آبشکن نفوذناپذیر، غیرمستغرق و مستقیم در فاصله ۳ برابر طول آبشکن از پایه و در بالادست آن، در پیچ خارجی نصب شد. براساس تحقیقات پردوک (۱۹) در هر مقطع عرضی از بازه رودخانه مجموع طول مؤثر آبشکن‌ها در دو سمت رودخانه حداکثر باید معادل ۳۰ درصد عرض رودخانه در وضعیت طبیعی آن باشد (شکل ۴). بنابراین طول آبشکن‌ها ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد و ماکزیمم تنگ شدگی کانال در این حالت ۱۶/۶۶ درصد می‌باشد. با توجه به

سادرلند (۱۹)، نسبت سرعت به سرعت بحرانی ( $u/u_c$ ) برای دبی‌های فوق‌الذکر به صورت زیر محاسبه شد (رابطه ۱ تا ۵):

$$u_{*c} = 0/0115 + 0/0125(d_{50})^{1/4}, \quad [1]$$

$$d_{50} = 0/71 \rightarrow u_{*c} = 0/019 \text{ m/s}$$

$$u_c = 5/75 u_{*c} \log 5/53 \frac{y}{d_{50}}, \quad [2]$$

$$y = 135 \text{ mm} \rightarrow u_c = 0/33 \text{ m/s}$$

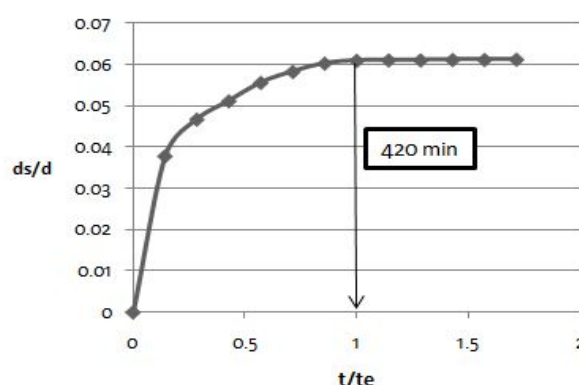
$$Q = 47 \frac{1}{s} \rightarrow u = 0/29 \text{ m/s} \rightarrow \frac{u}{u_c} = 0/87 \quad [3]$$

$$Q = 49 \frac{1}{s} \rightarrow u = 0/302 \text{ m/s} \rightarrow \frac{u}{u_c} = 0/9 \quad [4]$$

$$Q = 51 \frac{1}{s} \rightarrow u = 0/31 \text{ m/s} \rightarrow \frac{u}{u_c} = 0/94 \quad [5]$$

به توصیه رادکیوی (۲۱) برای اجتناب از تشکیل فرم بستر (ریپل) قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد و برای حذف اثر رسوبات روی عمق آبشستگی باید نسبت قطر پایه به قطر متوسط ذرات بزرگ‌تر از ۲۵-۲۰ باشد. همچنین به توصیه شفافی بجستان (۸) برای حذف اثر غیریکنواختی ذرات بر آبشستگی موضعی لازم است که انحراف معیار هندسی ذرات کوچک‌تر از ۱/۳ باشد. با توجه به مطالب فوق از رسوباتی با قطر متوسط ۰/۷۱ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ۱/۲۷ استفاده شد. شکل ۳ منحنی دانه‌بندی ذرات را نشان می‌دهد. با استفاده از رابطه پترسن (۲۰) که برای آبشکن‌های منفرد و مستقیم با امتداد قائم ارائه شده است، ماکزیمم عمق آبشستگی برابر با ۱۲/۴۸ سانتی متر به دست آمد که با احتساب ۳۰ درصد افزایش احتمالی آن، ضخامت مصالح

زهکشی و تأثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد ننماید. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب درون کانال، به وسیله یک متر لیزری با دقت یک میلی متر، ثبت رقوم بستر در اطراف پایه و آبشکن در شبکه های ۲×۲ سانتی متری (حدود ۳۰۰ نقطه) انجام شد و به منظور اندازه گیری عمق آبستتگی در طول زمان، توسط دستگاه عمق سنج عمق آبستتگی در اطراف پایه اندازه گیری و نهایتاً خطوط کانتور و توپوگرافی ترسیم می گردد.



شکل ۵. نمودار زمان تعادل در دبی ۵۱ لیتر بر ثانیه

### نتایج و بحث

در کلیه آزمایشات پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف پایه و آبشکن، گردابه ها تشکیل و آبستتگی با سرعت بسیار بالا آغاز شد و حفره آبستتگی شروع به شکل گیری کرد. در شکل های ۷، ۶ و ۸ نمایی از چند آزمایش و تغییرات توپوگرافی در دبی های مختلف برای تسلط بیشتر بر نحوه آزمایش آورده شده است.

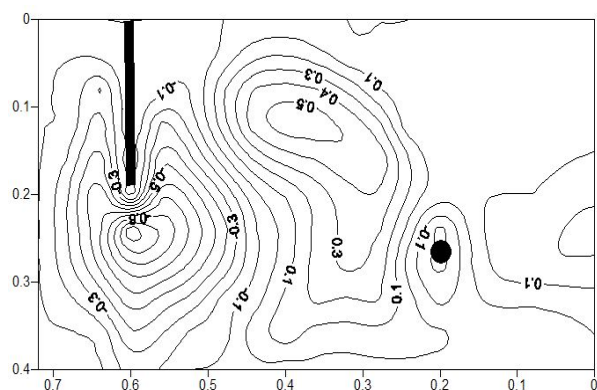
### تغییرات زمانی آبستتگی اطراف پایه پل

#### ۱. $u/uc$ برابر با ۰/۸۷

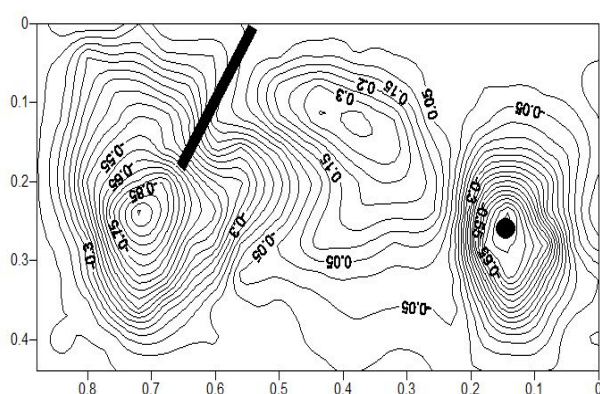
شکل ۹ تغییرات زمانی عمق آبستتگی موضعی اطراف پایه پل را در نسبت  $u/uc$  برابر با ۰/۸۷ نشان می دهد. همان گونه که در این شکل مشخص است، منحنی آبشکن ۹۰ درجه با فاصله نسبتاً زیادی از منحنی های دیگر قرار دارد، که این بیانگر تأثیر نسبتاً زیاد آبشکن ۹۰ درجه در کاهش عمق آبستتگی اطراف پایه پل می باشد. آبشکن های ۵۰ درجه و ۱۲۰ درجه تأثیر کمتری بر کاهش عمق آبستتگی دارند و منحنی های این زوایا به منحنی شاهد نزدیک تر هستند. اما میانگین عملکرد آبشکن ۱۲۰ درجه بهتر از ۵۰ درجه می باشد. همان گونه که شکل نشان می دهد بیشینه عمق آبستتگی، در حالت شاهد و برابر  $D/10$  و کمینه آن در حضور آبشکن ۹۰ درجه و برابر  $D/31$  می باشد.

مقادیر عمق جریان و ضخامت مصالح بستر ارتفاع آبشکن ها برابر ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. DHI (۱۲) زاویه قرار گیری آبشکن های جاذب را بزرگ تر از ۴۵ درجه و برای آبشکن های دافع زاویه بین ۹۵ درجه تا ۱۲۰ درجه را پیشنهاد کرد. بنابراین در تحقیق حاضر از زاویه ۵۰ درجه برای آبشکن جاذب و از زاویه ۱۲۰ درجه برای آبشکن دافع استفاده شد (شکل ۴). معیار زمان تعادل ( $t_e$ ) در این آزمایش ها معیاری است که کومار و همکاران (۱۶) در تحقیقات خود در نظر گرفتند و آن مدت زمانی است که تغییرات عمق آبستتگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی متر نباشد. لذا در این تحقیق این مدت با انجام آزمایشی در دبی ۵۱ لیتر بر ثانیه و بدون حضور آبشکن، همان طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است، برابر ۷ ساعت به دست آمد. در مطالعه حاضر ۹ آزمایش در سه دبی مختلف با سه زاویه قرارگیری آبشکن به علاوه ۳ آزمایش بدون حضور آبشکن به عنوان شاهد انجام شد. در هر آزمایش بعد از راه اندازی پمپ، درحالی که دریچه انتهایی کاملاً بسته است، توسط شیر کنترل دبی، جریان کمی وارد سیستم شد. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات، همزمان با باز کردن دریچه انتهایی، دبی افزایش داده شد تا دبی مورد نظر حاصل شود. در این شرایط با تنظیم دریچه پایین دست عمق جریان ۱۳/۵ سانتی متری حاصل شد. در پایان هر آزمایش، با خاموش نمودن پمپ، دریچه انتهایی نیز بسته شد تا آب موجود در کانال به آرامی

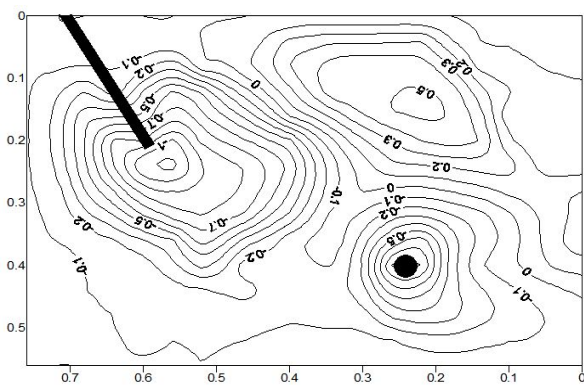




شکل ۶. پایه پل و آبشکن عمودی در دبی ۴۷ لیتر بر ثانیه - الگوی آبشستگی در اطراف پایه و آبشکن



شکل ۷. پایه پل و آبشکن دافع در دبی ۴۹ لیتر بر ثانیه - الگوی آبشستگی در اطراف پایه و آبشکن

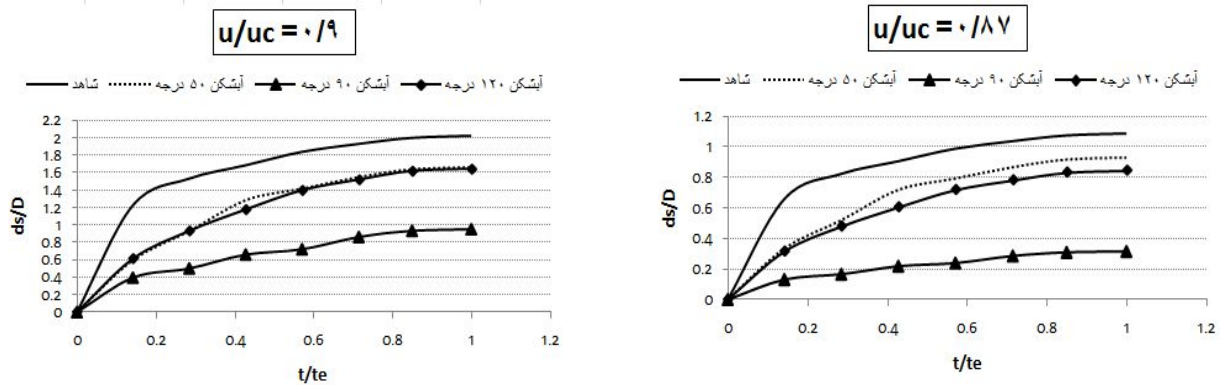


شکل ۸. پایه پل و آبشکن جاذب در دبی ۵۱ لیتر بر ثانیه - الگوی آبشستگی در اطراف پایه و آبشکن

۲.  $u/uc$  برابر با ۰/۹

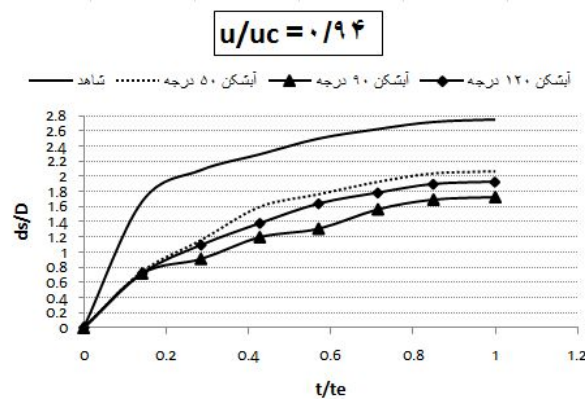
آبشستگی دارد اما میزان این کاهش نسبت به حالت قبل کمتر شده و منحنی آن به منحنی شاهد نزدیک‌تر شده است. آبشکن‌های ۱۲۰ درجه و ۵۰ درجه نیز در رده‌های بعدی کاهش قرار دارند اما همان‌طور که واضح است منحنی آبشکن ۵۰ درجه

شکل ۱۰ تغییرات زمانی عمق آبشستگی موضعی اطراف پایه پل را در نسبت  $u/uc$  برابر با ۰/۹ نشان می‌دهد. چنانچه در شکل دیده می‌شود، آبشکن ۹۰ درجه، عملکرد خوبی در کاهش عمق



شکل ۹. نمودار توسعه زمانی آبشستگی در نسبت  $u/u_c$  برابر با ۰/۸۷

شکل ۱۰. نمودار توسعه زمانی آبشستگی در نسبت  $u/u_c$  برابر با ۰/۹



شکل ۱۱. نمودار توسعه زمانی آبشستگی در نسبت  $u/u_c$  برابر با ۰/۹۴

فاصله گرفته است. بیشینه عمق آبشستگی مربوط به حالت شاهد و برابر  $2/76D$  و کمینه آن در حضور آبشکن ۹۰ درجه و برابر  $1/73D$  می باشد. نتایج تحقیقات عقلی و زمردیان (۹) نیز، نتایج فوق را تصدیق می نماید.

از شاهد فاصله گرفته و برعکس منحنی ۱۲۰ درجه مقدار کمی به منحنی شاهد نزدیک شده است. بیشینه عمق آبشستگی نیز مربوط به حالت شاهد و برابر  $2/02D$  و کمینه آن در حضور آبشکن ۹۰ درجه و برابر  $0/96D$  می باشد.

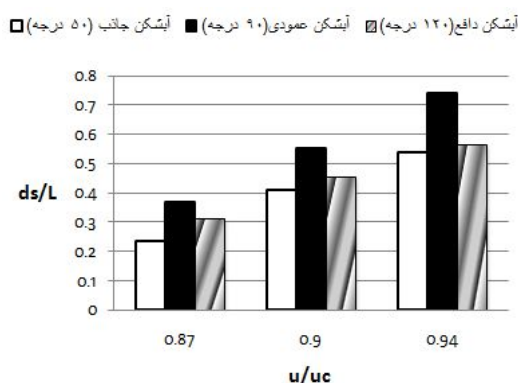
### کاهش عمق آبشستگی موضعی به وسیله آبشکن در نسبت های مختلف $u/u_c$

نتایج مربوط به عملکرد آبشکن در کنترل آبشستگی موضعی در اطراف پایه پل در شکل ۱۲، به صورت درصد کاهش عمق آبشستگی در حضور آبشکن نسبت به حالت شاهد نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشخص شده، در تمام مدل های بررسی شده، کاهش آبشستگی توسط آبشکن ۹۰ درجه بیشتر از آبشکن های ۵۰ و ۱۲۰ درجه می باشد. علت این

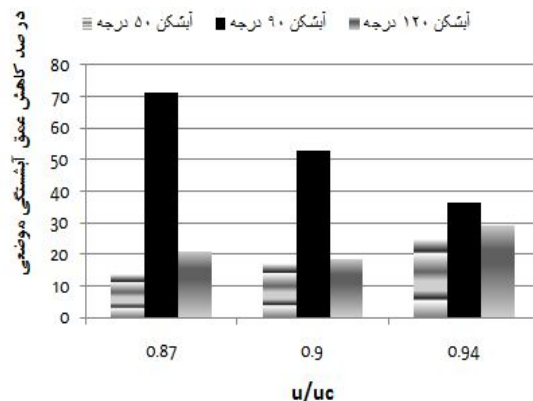
### ۳. $u/u_c$ برابر با ۰/۹۴

شکل ۱۱ تغییرات زمانی عمق آبشستگی موضعی اطراف پایه پل را در نسبت  $u/u_c$  برابر با ۰/۹۴ نشان می دهد. در این شکل مشخص است که عملکرد آبشکن ۹۰ درجه در کاهش آبشستگی، نسبت به دو حالت قبل ضعیف تر شده و منحنی آن به منحنی شاهد نزدیک تر است، اما منحنی آبشکن ۵۰ درجه از شاهد دورتر شده و عملکرد آن نسبت به حالت های قبل بهبود یافته است. منحنی آبشکن ۱۲۰ درجه نیز در این حالت از شاهد





شکل ۱۳. ماکزیمم عمق آبشستگی اطراف آبشکن



شکل ۱۲. درصد کاهش عمق آبشستگی اطراف پایه پل

می شود که با افزایش در صد تنگ شدگی کانال توسط آبشکن از زوایای ۵۰ درجه (۱۲/۷۶ درصد) و ۱۲۰ درجه (۱۴/۴۳ درصد) به زاویه ۹۰ درجه (۱۶/۶۶ درصد) آبشستگی در اطراف آبشکن در حال افزایش است. در تمامی نسبت ها مقدار آبشستگی در حوالی آبشکن دافع (۱۲۰ درجه) بیشتر از آبشکن جاذب (۵۰ درجه) می باشد که این نتیجه گیری به خوبی با نتایج حاصل از کار محققین قبلی از جمله بهرامی (۲) و ولی زاده (۱۰) نیز مطابقت دارد. در این حالت ماکزیمم عمق آبشستگی مربوط به آبشکن عمودی در نسبت  $u/u_c$  برابر با ۰/۹۴ با مقدار  $L$  ۰/۷۴ می باشد و مینیم عمق آبشستگی مربوط به آبشکن جاذب در نسبت  $u/u_c$  برابر با ۰/۸۷ با مقدار  $L$  ۰/۲۳۵ است.

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایشات، در کلیه نسبت های  $u/u_c$  و کلیه زوایای قرارگیری آبشکن، آبشستگی در اطراف پایه پل نسبت به حالت شاهد کاهش می یابد. در همه نسبت های  $u/u_c$  بهترین عملکرد مربوط به آبشکن عمودی می باشد و میانگین عملکرد آبشکن دافع نسبت به آبشکن جاذب بهتر و مطلوب تر است اما با افزایش دبی و به تبع آن نسبت  $u/u_c$  از تأثیر آبشکن عمودی کاسته شده و در مقابل عملکرد آبشکن جاذب بهبود می یابد. آبشستگی در اطراف آبشکن در تمامی حالات با افزایش نسبت  $u/u_c$  افزایش می یابد. همچنین در یک نسبت  $u/u_c$  ثابت،

امر را می توان این طور بیان کرد که با توجه به اینکه عمق آبشستگی در کناره آبشکن عمودی بیشتر از سایر آبشکن ها است، رسوبات خارج شده از اطراف آنها بیشتر وارد گودال آبشستگی ناشی از پایه پل شده و عمق آبشستگی کمتر اندازه گیری می شود. در این خصوص، نتایج سعادت نیا و همکاران (۷) نیز این مسئله را تأیید می کند. همچنین با افزایش دبی و به تبع آن افزایش نسبت  $u/u_c$ ، از کاهش عمق آبشستگی توسط آبشکن ۹۰ درجه کاسته می گردد، زیرا با افزایش سرعت جریان، رسوبات کنده شده از کناره آبشکن ها با سرعت بیشتری از روی گودال آبشستگی اطراف پایه پل عبور می کنند و فرصت نشست در گودال را پیدا نمی کنند. در مقابل، با افزایش نسبت  $u/u_c$ ، تأثیر آبشکن ۵۰ درجه در کاهش آبشستگی بیشتر می شود که علت آن را می توان در عملکرد بهتر آبشکن ۵۰ درجه در دور کردن خطوط جریان از اطراف پایه پل دانست.

### عمق آبشستگی موضعی در پای آبشکن ها در نسبت های مختلف $u/u_c$

در شکل ۱۳ مقادیر ماکزیمم عمق آبشستگی به طول آبشکن در مقابل سرعت جریان به سرعت بحرانی نمایش داده شده است. همان طور که این شکل نشان می دهد، با افزایش نسبت  $u/u_c$  مقدار عمق آبشستگی در اطراف آبشکن در تمامی حالات افزایش می یابد. همچنین در یک نسبت  $u/u_c$  ثابت، مشاهده

با افزایش درصد تنگ شدگی توسط آبشکن از زوایای ۵۰ درجه افزایش است.  
 ۱۲/۷۶ (درصد) و ۱۲۰ درجه (۱۴/۴۳ درصد) به زاویه ۹۰  
 درجه (۱۶/۶۶ درصد) آبشستگی در اطراف آبشکن در حال

## منابع مورد استفاده

۱. بصیرت، ش.، م. صانعی و ف. ساغروانی. ۱۳۸۸. کاهش میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل با استفاده از آبشکن محافظ. هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران. دانشگاه شیراز. ۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۸.
۲. بهرامی، ا. ۱۳۸۳. بررسی صحرایی پدیده آبشستگی در اطراف آبشکن‌های رودخانه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۳. حیدرپور، م.، ح. افصلی مهر و م. نادری نبی. ۱۳۸۲. کنترل و کاهش آب شستگی موضعی در پایه های پل با مقاطع مستطیلی گرد گوشه با استفاده از شکاف. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۷(۳): ۲۷-۲۳.
۴. خادم، غ. ۱۳۸۱. طراحی لایه ریپ رپ در اطراف پایه پل با آبشستگی محدود مجاز. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۵. دبردانی، ا.، م. صانعی و ب. قربانی. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر کاربرد صفحات مستغرق دو گانه با طول های متفاوت در کاهش آب شستگی موضعی پایه پل با استفاده از نمودار زمانی. نهمین کنفرانس هیدرولیک. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۸ تا ۲۰ آبان ۱۳۸۹.
۶. زراتی، ا. و م. عزیزی. ۱۳۷۶. روش های محافظت پایه پل در برابر آبشستگی. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تهران. ۱۱ تا ۱۳ شهریور ۱۳۷۶.
۷. سعادت نیا، م.، س. ر. خدائیان و ک. اسماعیلی. ۱۳۸۹. تحلیل آزمایشگاهی عملکرد آبشکن بر کاهش عمق و حجم آبشستگی اطراف دماغه پل. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹.
۸. شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۴. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
۹. عقلی، م. و س. م. ع. زمردیان. ۱۳۹۲. تأثیر توام طوق و کابل بر روی عمق آبشستگی اطراف پایه پل در قوس رودخانه ها، مجله علوم و مهندسی آبیاری ۳۶(۳): ۴۰-۳۱.
۱۰. ولی زاده، م. ۱۳۸۵. بررسی ساختار جریان و مطالعه آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها در حالت مستغرق در کانال مرکب. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

11. Dey, S., B. M. Sumer and J. Fredsoe. 2006. Control of scour at vertical circular piles under waves and current. J. ASCE 132( 3): 270-282.
12. DHI . 1992. Hydraulic Manual of Mike 11 Mode.a microcomputer based modelling system for rivers and channels, Danish Hydraulic Institute (DHI), Denmark.
13. Heidarnajad, M., M. Shafai Bajestan and A. Masjedi. 2010. The effect of solts on scouring around piers in different positions of 180 degree bends. J. World Applied Sciences 8(7): 892-899.
14. Heidarpour, M., H. Afzalimehr and E. Izadinin. 2010. Reduction of local scour around bridge pier groups using collar. J. Sediment Research 25(4): 411-422.
15. Khwairakpam, P. and A. Mazumdar. 2009. Local scour around hydraulic structures. J. Recent Trends in Engineering 1(6): 59-61.
16. Kumar, V., K. G. Rang Raju and N. Vittal. 1999. Reduction of local scour around bridge pier using slots and collar. J. J. ASCE 125(2): 132-135.
17. Masjedi, A. R., M. Shafaei Bejstan and A. Esfandi. 2010. Experimental study on local scour around single oblong pier fitted with a collar in a 180 degree flume bend. J. Sediment Research 25( 3): 304-312.

18. Melville, B. W. 1997. Pier and abutment scour-an integrated approach. J. ASCE 123( 2): 125-136.
19. Melville, B. W. and A. J. Sutherland. 1988. Design method for local scour at bridge piers. J. ASCE 114( 10): 1210-1226.
20. Perdok, U. H. 2002. Application of timber groynes in coastal engineering. Master degree Thesis, TU delft university of Technology.
21. Raudkivi, J. A. 1998. Loose boundary hydraulics. A. A. Balkema, Rotterdam. Netherlands.
22. Raudkivi, J. A. and R. Ettema. 1983. Clear water scour at cylindrical piers. J. ASCE 109(3): 338-349.
23. Singh, C. P., B. Setiaand D. V. S. Verma. 2001. Collar sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. 29<sup>th</sup> Congress on Hydraulic of River, Water and Machinery. 16-21 September, China.