

## 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)

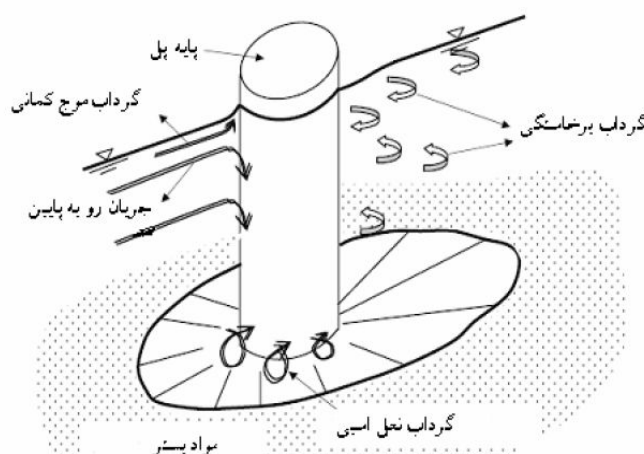
### چکیده

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 گرادیان 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 گرداب 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 می‌نمایند و در عین حال نیز یک حفره آبشستگی مستقل در پایین دست پایه ایجاد می‌گردد (شکل ۱).

به‌طورکلی روش‌های مقابله با آبشستگی در دو دسته تقسیم

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)، به این 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 به وسیله 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 جریان‌ها 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 ۱۵ و ۳۰ 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 به طوری که طول این صفحات مضربی از قطر پایه بود، نتایج حاصل نشان داد که کاربرد صفحات مستغرق با طول ۰/۵ برابر قطر پایه بهترین نتیجه را در کاهش عمق آبشستگی دارد.

از دیگر روش‌های کاهش آبشستگی استفاده از آبشکن‌ها

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 ۰/۱ 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 ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر قطر پایه روی بستر، به میزان ۵۰٪، ۶۸٪ و ۱۰۰٪ 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، به این 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 ۶۹/۷ 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 ۵۰ تا ۶۰ 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 ۱۸۰ درجه، به این نتیجه رسیدند که نصب یک طوق به اندازه ۳ برابر عرض پایه در عمق ۰/۱ عرض پایه زیر بستر، عمق آبشستگی را حدود ۹۵



شکل ۲. قوس محل آزمایش

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

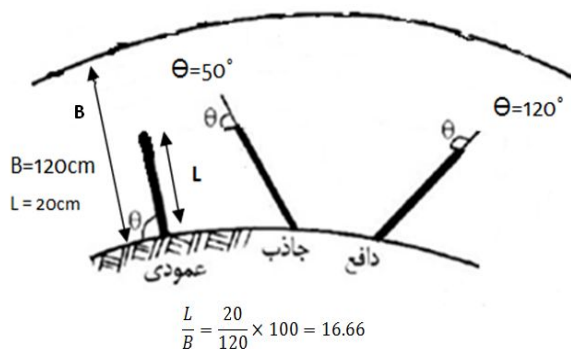
### مواد و روش ها

آزمایش ها 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 ۰/۰۱ با دیواره فولادی به ارتفاع ۰/۴ متر واقع در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد (شکل ۲).

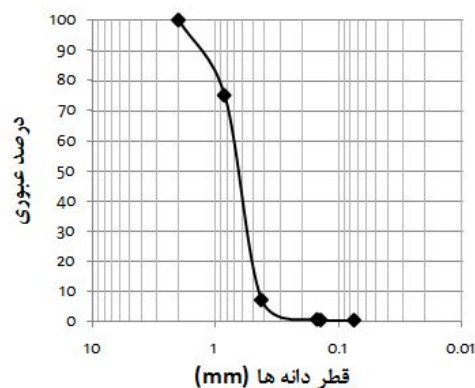
برای جلوگیری از شسته شدن رسوبات قرار گرفته در بخشی از قوس که مدل در آن قرار می گیرد، صفحات فلزی پایه داری در بالادست و پایین دست این قسمت نصب شد، به طوری که سطح این صفحات فلزی هم سطح رسوبات گردد. ضمناً جهت از بین بردن تفاوت زبری میان بستر رسوبات و صفحات در نظر گرفته شده، لایه نازکی از رسوبات به وسیله 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 گونه ای تنظیم شد تا نسبت سرعت جریان (u) به سرعت بحرانی (u<sub>c</sub>) کمتر از ۰/۹۵ شده و شرایط آبشستگی آب زلال برقرار شود (۲۱). از اینرو عمق آب در کلیه آزمایشات ۱۳/۵ سانتی متر در نظر گرفته شد که این عمل توسط یک دریچه کشویی تعبیه شده در پایین دست قوس انجام پذیرفت. با استفاده از معادلات ملویل (۱۸) و ملویل و

می باشد که از جمله تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می توان به مطالعات بصیرت و همکاران (۱) بر تأثیر آبشکن بر کاهش میزان آبشستگی تکیه گاه پل در کانال مستقیم، اشاره کرد. آنها در بررسی های خود به این نتیجه رسیدند که میزان آبشستگی با افزایش فاصله آبشکن محافظ از تکیه گاه پل، افزایش می یابد و با افزایش طول آبشکن محافظ، کاهش پیدا می کند. سعادت نیا 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 می باشد.

با توجه به مطالب گفته شده در طی سال های گذشته، ارائه راه حل هایی جهت کاهش عمق آبشستگی مورد توجه محققین زیادی بوده است اما استفاده از آبشکن برای کنترل آبشستگی سابقه چندانی ندارد و تاکنون پژوهش های کمی در این راستا صورت گرفته، که همه در زمینه استفاده از آبشکن جهت کنترل آبشستگی تکیه گاه پل در بازه های مستقیم می باشد. اما از آنجایی که ممکن است به علت محدودیت های احداث راه و یا عدم پایداری رودخانه در بازه های مستقیم، مجبور به احداث پل در قوس رودخانه شویم، ضرورت دانسته شد که اثر آبشکن بر عمق آبشستگی در اطراف پایه های پل در قوس رودخانه ها 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 می شود



شکل ۴. آرایش قرارگیری آبشکن در رودخانه



شکل ۳. منحنی دانه‌بندی رسوبات

بستر ۱۶ سانتی‌متر 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 سانتی‌متر 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. براین‌اساس پایه پل در فاصله یک سوم عرض کانال یعنی ۴۰ سانتی‌متری از دیواره قرار گرفت و این نسبت برابر ۸/۸۸ حاصل شد. به‌منظور 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 سانتی‌متر در نظر گرفته شد و ماکزیمم تنگ‌شدگی کانال در این حالت ۱۶/۶۶ درصد می‌باشد. با توجه به

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

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

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

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

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

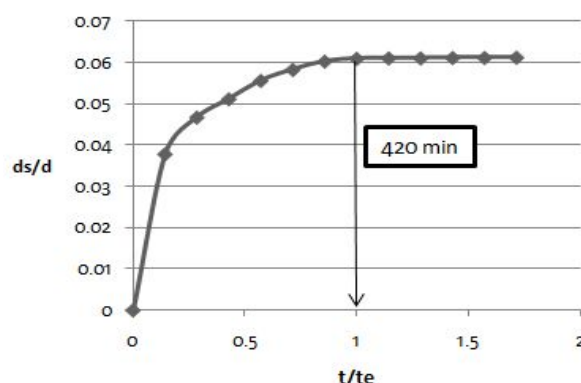
$$Q = 47 \frac{1}{s} \rightarrow u = 0/29 \text{ m/s} \rightarrow \frac{u}{u_c} = 0/87 \quad [3]$$

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

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

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 سانتی‌متر به‌دست آمد که با احتساب ۳۰ درصد افزایش احتمالی آن، ضخامت مصالح

زهکشی و تأثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد نماید. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب درون کانال، به وسیله یک متر لیزری با دقت یک میلی‌متر، ثبت رقوم بستر در اطراف پایه و آبشکن در شبکه‌های ۲×۲ سانتی‌متری (حدود ۳۰۰ نقطه) انجام شد و به منظور اندازه‌گیری عمق آبستگي در طول زمان، توسط دستگاه عمق‌سنج عمق آبستگي در اطراف پایه اندازه‌گیری و نهایتاً خطوط کانتور و توپوگرافی ترسیم می‌گردد.



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

### نتایج و بحث

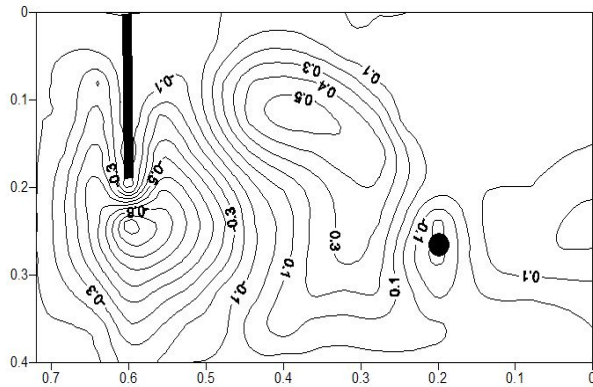
در کلیه آزمایشات پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف پایه و آبشکن، گردابه‌ها تشکیل و آبستگي با سرعت بسیار بالا آغاز شد و حفره آبستگي شروع به شکل‌گیری کرد. در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نمایی از چند آزمایش و تغییرات توپوگرافی در دبی‌های مختلف برای تسلط بیشتر بر نحوه آزمایش آورده شده است.

### تغییرات زمانی آبستگي اطراف پایه پل

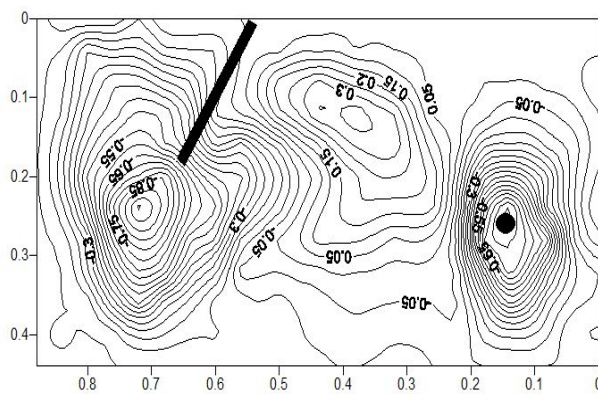
۱.  $u/uc$  برابر با  $0/87$

شکل ۹ تغییرات زمانی عمق آبستگي موضعی اطراف پایه پل را در نسبت  $u/uc$  برابر با  $0/87$  نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشخص است، منحنی آبشکن  $90^\circ$  درجه با فاصله نسبتاً زیادی از منحنی‌های دیگر قرار دارد، که این بیانگر تأثیر نسبتاً زیاد آبشکن  $90^\circ$  درجه در کاهش عمق آبستگي اطراف پایه پل می‌باشد. آبشکن‌های  $50^\circ$  درجه و  $120^\circ$  درجه تأثیر کمتری بر کاهش عمق آبستگي دارند و منحنی‌های این زوایا به منحنی شاهد نزدیک‌تر هستند. اما میانگین عملکرد آبشکن  $120^\circ$  درجه بهتر از  $50^\circ$  درجه می‌باشد. همان‌گونه که شکل نشان می‌دهد بیشینه عمق آبستگي، در حالت شاهد و برابر  $1/09D$  و کمینه آن در حضور آبشکن  $90^\circ$  درجه و برابر  $D/31$  می‌باشد.

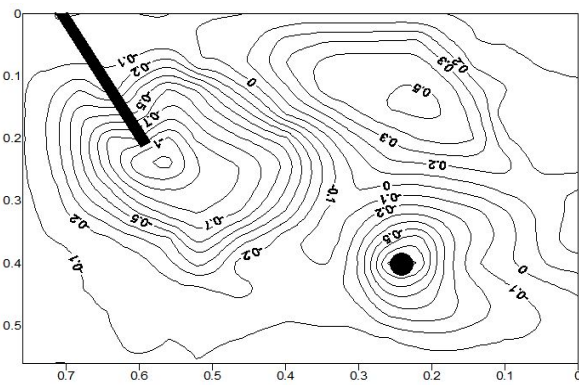
مقادیر عمق جریان و ضخامت مصالح بستر ارتفاع آبشکن‌ها برابر  $30$  سانتی‌متر در نظر گرفته شد. DHI ( $12^\circ$ ) زاویه قرارگیری آبشکن‌های جاذب را بزرگ‌تر از  $45^\circ$  درجه و برای آبشکن‌های دافع زاویه بین  $95^\circ$  درجه تا  $120^\circ$  درجه را پیشنهاد کرد. بنابراین در تحقیق حاضر از زاویه  $50^\circ$  درجه برای آبشکن جاذب و از زاویه  $120^\circ$  درجه برای آبشکن دافع استفاده شد (شکل ۴). معیار زمان تعادل ( $t_e$ ) در این آزمایش‌ها معیاری است که کومار و همکاران ( $16$ ) در تحقیقات خود در نظر گرفتند و آن مدت زمانی است که تغییرات عمق آبستگي در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی‌متر نباشد. لذا در این تحقیق این مدت با انجام آزمایشی در دبی  $51$  لیتر بر ثانیه و بدون حضور آبشکن، همان‌طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است، برابر  $7$  ساعت به دست آمد. در مطالعه حاضر  $9$  آزمایش در سه دبی مختلف با سه زاویه قرارگیری آبشکن به علاوه  $3$  آزمایش بدون حضور آبشکن به عنوان شاهد انجام شد. در هر آزمایش بعد از راه‌اندازی 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  $13/5$  سانتی‌متری 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 آبستنگی در اطراف پایه و آبشکن



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

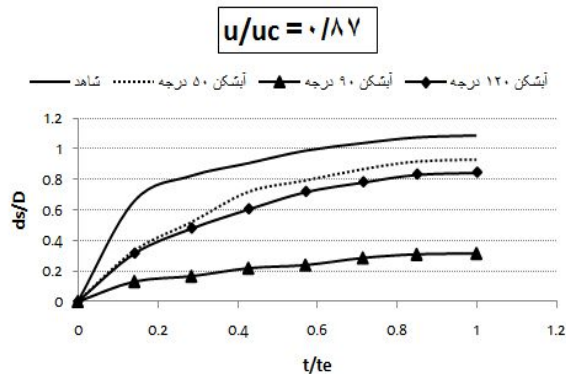
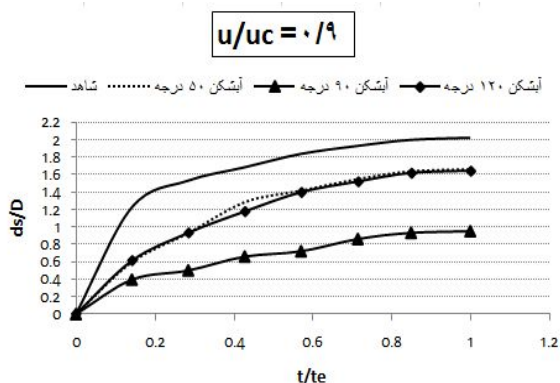


شکل ۸. پایه پل و آبشکن جاذب در دبی ۵۱ لیتر بر ثانیه - الگوی آبستنگی در اطراف پایه و آبشکن

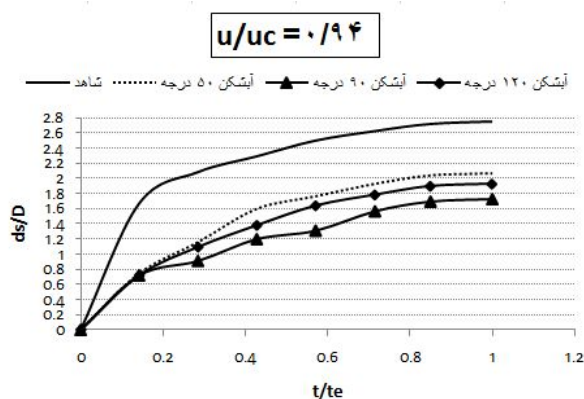
آبستنگی دارد اما میزان این کاهش نسبت به حالت قبل کمتر شده و منحنی آن به منحنی شاهد نزدیک‌تر شده است. آبشکن‌های ۱۲° درجه و ۵۰° درجه نیز در رده‌های بعدی کاهش قرار دارند اما همان‌طور که واضح است منحنی آبشکن ۵۰° درجه

۲.  $u/uc$  برابر با ۰/۹

شکل ۱۰ تغییرات زمانی عمق آبستنگی 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 آبستگي در نسبت  $u/u_c$  برابر با ۰/۸۷ / شکل ۱۰. نمودار توسعه زمانی آبستگي در نسبت  $u/u_c$  برابر با ۰/۹



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

فاصله گرفته است. بیشینه عمق آبستگي 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.

کاهش عمق آبستگي موضعی به وسیله آبشکن در

#### نسبت های $u/u_c$ مختلف

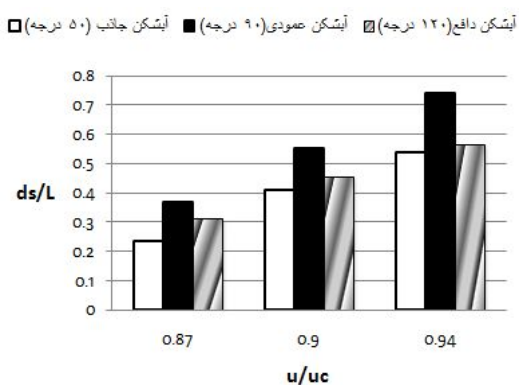
نتایج مربوط به عملکرد آبشکن در کنترل آبستگي موضعی در اطراف پایه پل در شکل ۱۲، به صورت درصد کاهش عمق آبستگي در حضور آبشکن نسبت به حالت شاهد نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشخص شده، در تمام مدل های بررسی شده، کاهش آبستگي توسط آبشکن ۹۰ درجه بیشتر از آبشکن های ۵۰ و ۱۲۰ درجه می باشد. علت این

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

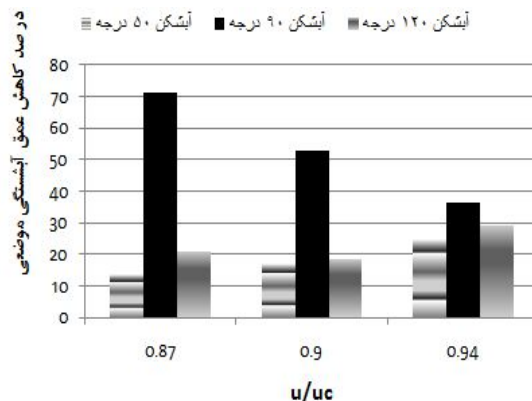
۳.  $u/u_c$  برابر با ۰/۹۴

شکل ۱۱ تغییرات زمانی عمق آبستگي 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 آبستگي، 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

می‌شود 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 نسبت‌ها مقدار آبشستگی در حوالی آبشکن دافع (۱۲۰ درجه) بیشتر از آبشکن جاذب (۵۰ درجه) می‌باشد که این نتیجه‌گیری 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 می‌باشد و مینیمم عمق آبشستگی مربوط به آبشکن جاذب در نسبت  $u/u_c$  برابر با ۰/۸۷ با مقدار  $L$  ۰/۲۳۵ است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایشات، در کلیه نسبت‌های  $u/u_c$  و کلیه زوایای قرارگیری آبشکن، آبشستگی در اطراف پایه پل نسبت به حالت شاهد کاهش می‌یابد. در همه نسبت‌های  $u/u_c$  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  $u/u_c$  از تأثیر آبشکن عمودی کاسته شده و در مقابل عملکرد آبشکن جاذب بهبود می‌یابد. آبشستگی در اطراف آبشکن در تمامی حالات با افزایش نسبت  $u/u_c$  افزایش می‌یابد. همچنین در یک نسبت  $u/u_c$  ثابت،

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

### عمق آبشستگی موضعی در پای آبشکن‌ها در نسبت‌های 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. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، با افزایش نسبت  $u/u_c$  مقدار عمق آبشستگی در اطراف آبشکن در تمامی حالات افزایش می‌یابد. 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. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۳. حیدرپور، م.، ح. افضل‌ی مهر و م. نادری نبی. ۱۳۸۲. کنترل و کاهش آب شستگی موضعی در پایه‌های 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 ریپ‌رپ در اطراف پایه پل با آبشستگی محدود مجاز. پایان‌نامه 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 طول‌های 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. روش‌های محافظت پایه پل در برابر آبشستگی. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تهران. ۱۱ تا ۱۳ شهریور ۱۳۷۶.
۷. سعادت‌نیا، 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 بجنستان، 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 رودخانه‌ها، مجله علوم و مهندسی آبیاری ۳۶(۳): ۳۱-۴۰.
۱۰. ولی‌زاده، م. ۱۳۸۵. بررسی ساختار جریان و مطالعه آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها در حالت مستغرق در کانال مرکب. پایان‌نامه 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. Heidarpor, 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.