

عملکرد طوق دایره ای شکل (3D) و پایه های قربانی شونده در کاهش آبستگی در

اطراف پایه های پل

الهام نوروزی^{1*}، منوچهر حیدرپور²، تورج سبزواری³

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته عمران سازه هیدرولیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان

عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان

E_noruzi@iauest.ac.ir

چکیده

وقوع آبستگی در اطراف پایه های پل یکی از عمده ترین دلایل تخریب پل ها می باشد. روشهای مهار و جلوگیری از آبستگی بر اساس مطالعات انجام شده بر روی مکانیزم آبستگی، بنیاد گذاشته شده است. یکی از این روشها، نصب صفحه ی محافظ (طوق) در اطراف پایه پل می باشد. طوق ها بستر را در مقابل سیستم گرداب اطراف پایه محافظت کرده و میزان آبستگی را کاهش میدهند. روش دیگر استفاده از پایه های قربانی شونده به صورت مثلثی شکل در بالادست پایه اصلی قرار گرفته و با انحراف مسیر جریان و کاهش سرعت جریان پایین رونده در جلو پایه و ایجاد منطقه کم فشار در پشت خود، از پایه پل در برابر آبستگی حفاظت می کنند. در مطالعه فوق تاثیر تغییر زاویه پایه های قربانی شونده برای پایه استوانه ای به قطر 3 سانتی متر همراه با نصب طوق روی بستر به ضخامت ناچیز و قطر (3D) و مقایسه آن با پایه استوانه ای با پایه های قربانی شونده بدون طوق انجام گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که نصب طوق و پایه های قربانی شونده با زاویه 30 درجه بیشترین کارایی را در کاهش آبستگی داشته بطوری که عمق آبستگی را به صفر رسانده است.

کلمات کلیدی: آبستگی، پایه پل استوانه ای، پایه های قربانی شونده، طوق

1-مقدمه

اهمیت پل در برقراری راه های ارتباطی برکسی پوشیده نیست. همه ساله هزاران پل در سراسر جهان در اثر آبستگی در اطراف پایه های آنها تخریب شده و یا خسارت می بینند. تخریب و خسارات وارده بر پلها علاوه بر ضررهای مالی از آنجا که اغلب در هنگام سیل رخ میدهد به علت قطع راههای ارتباطی کمک به مناطق سیل زده را مختل نموده و از این نظر عواقب اجتماعی نیز بدنبال دارد. کنترل و محافظت اطراف پایه های پل در مقابل آبستگی خواهد توانست از وارد آمدن این خسارات پیشگیری نماید و از این رو تحقیق و مطالعه بر روی این موضوع حائز اهمیت زیادی می باشد [10]. در سال های اخیر، محققین زیادی روش های گوناگون حفاظت از پل ها در مقابل آبستگی را مورد بررسی قرار داده اند. روش های مهار و جلوگیری از آبستگی بر اساس مطالعات انجام شده بر روی مکانیزم آبستگی می باشد. به طور کلی روش های کاهش آبستگی به دو گروه تقسیم می شوند. گروه اول روش هایی هستند که به منظور تقویت بستر و بالا بردن مقاومت آن در برابر تنش برشی ناشی از جریان استفاده می شوند مانند احداث سنگ چین. اما گروه دوم روش هایی هستند که به منظور تغییر الگوی جریان و کاهش شدت گرداب های ایجاد شده در اطراف پایه بکار می روند مانند نصب طوق در اطراف پایه و پایه های قربانی شونده جلوی پای [5].

1-1. کاربرد طوق برای کاهش آبستگی

طوق صفحه ای است که در ارتفاعات مختلف پایه و معمولاً نزدیک بستر در اطراف پایه قرار می گیرد. این صفحه محافظ بصورت یک سطح صاف و دارای ضخامت ناچیز می باشد و در کاهش توسعه آبشستگی موثر می باشد. طوق نباید خیلی ضخیم باشد، چرا که ضخامت زیاد طوق، سبب ایجاد مانع در برابر جریان شده و آبشستگی را افزایش می دهد [1].

یک طوق در هر سطحی نسبت به بستر نصب شود، جریان را به دو ناحیه بالا و پایین طوق تقسیم می کند. ناحیه بالای طوق به عنوان یک مانع در مقابل جریان رو به پایین عمل کرده و قدرت جریان رو به پایین را در اثر برخورد با طوق کاهش می دهد. در ناحیه پایین طوق، قدرت جریان رو به پایین و در نتیجه گرداب نعل اسبی کاهش می یابد. کارایی یک طوق به اندازه و محل قرار گیری آن بر روی پایه نسبت به بستر، بستگی دارد. موقعی که طوق برای محافظت از آبشستگی روی پایه نصب می شود، جریان رو به پایین در حین برخورد با طوق از بستر منحرف شده و جلوی آبشستگی گرفته می شود [5].

محققین مختلفی عملکرد طوق ها در کاهش آبشستگی اطراف پایه های پل را مورد بررسی قرار داده اند که به تعدادی از آن ها اشاره می شود.

چیو (1992) تاثیر طوق های محافظ را در کاهش آبشستگی پایه پل مورد آزمایش قرار داد و با استفاده از طوق به اندازه دو برابر قطر پایه عمق آبشستگی به میزان 20 درصد کاهش یافت. همچنین او اظهار داشت که طراحی و کاربرد درست طوق می تواند جایگزین مناسبی برای سنگ چین در حل مشکلات آبشستگی موضعی پایه های پل باشد [5].

کومار و همکاران (1999) تاثیر طوق ها با ابعاد مختلف در کاهش آبشستگی موضعی پایه های پل استوانه ای شکل را مورد بررسی قرار دادند. آن ها با استفاده از تحلیل نتایج حاصل از آزمایشات، معادله زیر را برای تعیین ماکزیم عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه ای شکل که توسط طوق محافظت شده است، ارائه دادند.

$$\left(\frac{ds_p - ds_c}{ds_p}\right) = 0.057 \left(\frac{B}{b}\right)^{1.612} \left(\frac{H}{Y_0}\right)^{0.837} \quad (1)$$

در این معادله ds_p عمق تعادل آبشستگی بدون طوق، ds_c عمق تعادل آبشستگی با طوق، B قطر طوق، b قطر پایه، H ارتفاع طوق نسبت به سطح آزاد آب و Y_0 عمق جریان می باشد [7].

زراتی و همکاران (2006) نیز عملکرد طوق های مستقل و پیوسته همراه با سنگ چین را در گروه پایه های پل بررسی کردند. نتایج نشان داد که ترکیبی از یک طوق پیوسته و سنگ چین منجر به کاهش عمق آبشستگی به میزان 50 و 60 درصد به ترتیب در جلو و پشت پایه می شود. همچنین عملکرد طوق های مستقل بر روی هر پایه بهتر از عملکرد یک طوق پیوسته بر روی دو پایه بود. آن ها مشاهده کردند که کارایی طوق بر روی یک پایه مستطیلی بیشتر از دو پایه در یک امتداد می باشد. این تحقیق از لحاظ استفاده همزمان از طوق و بررسی تغییر زاویه پایه های قربانی شونده و تاثیر آن بر روی آبشستگی پایه اصلی جنبه نوآوری داشته [10].

2-1. کاربرد پایه های قربانی شونده برای کاهش آبشستگی

با قرار گیری پایه های قربانی شونده در بالادست پایه اصلی علاوه بر تغییر مسیر جریان، مواد بستر حاصل از فرسایش در فونداسیون این پایه ها نیز در اطراف پایه اصلی جمع می گردند و به کاهش عمق آبشستگی کمک می کنند. راندمان استفاده از پایه های قربانی شونده به عوامل متعددی از جمله تعداد، اندازه، آرایش هندسی شمع ها و شرایط جریان (سرعت جریان آب، انحراف چولگی) جریان نسبت به پایه های قربانی شونده بستگی دارد.

از اولین مطالعات صورت گرفته در این خصوص می توان به مطالعات چابرت و انگلدینجر (1956) اشاره نمود. در آن مطالعه، پایه های قربانی شونده با آرایش مثلثی مورد استفاده قرار گرفت و نتایج آن تحقیق نشان داد، با این روش امکان کاهش آبستگي تا حدود 50٪ قابل انتظار خواهد بود. سينگ و همکارانش (1995) با انجام آزمایش هایی بر پایه های قربانی شونده نشان دادند، حداکثر حفاظت برای یک پایه استوانه ای به قطر (D)، زمانی حاصل می شود، که یک شمع حفاظتی با همان قطر در فاصله (2D) بالاتر از پایه نصب گردد. با این شرایط حدود 50٪ آبستگي را می توان کاهش داد. همچنین آن ها به این نتیجه رسیدند که اگر قطر شمع حفاظتی به 36 در صد قطر پایه کاهش یابد، حداکثر مقدار آبستگي 32٪ خواهد بود. آرایش شمع های عمود بر مسیر جریان توسط هاگو و همکاران (2007) مورد بررسی قرار گرفت. هدف اصلی قرار دادن پایه های قربانی شونده در آن تحقیق، به تله انداختن رسوبات شسته شده این شمع ها توسط پایه اصلی و جلوگیری از افزایش بیش تر عمق آبستگي گزارش شده است. در تحقیق انجام گرفته توسط هاگو و همکاران، چندین آرایش گوناگون پایه های قربانی شونده مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نتیجه گرفتند، راندمان بیشینه زمانی رخ می دهد که 3 شمع با قطر 20٪ عرض پایه اصلی در فاصله 2 برابر عرض پایه اصلی قرار گیرند. در این وضعیت راندمان 50٪ در کاهش عمق آبستگي بدست خواهد آمد. علاوه بر تحقیقات آزمایشگاهی، این روش در عمل نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این خصوص، دو تحقیق توسط چنگ و کریم (1972) و پاپس و هی (1993) نشان می دهد که با استفاده از این روش در مقاصد عملی امکان کاهش قابل توجه آبستگي وجود دارد.

با وجود مطالعات فوق همچنان ضرورت انجام تحقیقات بیشتر پیرامون تاثیر پایه های قربانی شونده وجود دارد. از آنجایی که تغییر نحوه آرایش شمع ها و تغییر قطر و فاصله در آن ها بر راندمان حضور شمع ها نقش بسزایی را ایفا می کند، لذا این تحقیق به بررسی کارایی و تاثیر پایه های قربانی شونده بر کاهش آبستگي موضعی در کنار پایه استوانه ای، و تعیین موقعیت قرارگیری این شمع ها با آرایش مثلثی در بالادست پایه می پردازد.

2. مواد و روش

2-1. مشخصات کانال آزمایشگاهی:

آزمایش ها در یک کانال آزمایشگاهی با طول مفید 10، عرض 4 و ارتفاع 6 متر با کف افقی انجام شده است. جنس دیواره های آن از پلکسی گلاس شیشه ای به ضخامت 10 میلیمتر و کف کانال از جنس PVC به ضخامت 10 میلیمتر ساخته شده و بر روی خرابای فلزی نصب گردیده است.

یک پمپ وظیفه انتقال آب را از مخزن اصلی به کانال عهده دار است که حداکثر دبی تامین شده توسط آن

300 لیتر بر ثانیه است. در این تحقیق تمام آزمایشات با دبی ثابت به میزان 22 لیتر بر ثانیه انجام شده است.



شکل 1- نمایی کلی از کانال آزمایشگاهی

2-2. انتخاب پارامترهای آزمایش و ابعاد مدل :

برای بدست آوردن شرایطی که در آن حداکثر عمق آب شستگی آب زلال اتفاق بیفتد، پارامترهایی نظیر عمق جریان، اندازه و دانه بندی ذرات رسوبات باید بهگونهای باشد که تأثیر آنها بر روی عمق آب شستگی حذف گردد. همچنین سرعت جریان تا حد امکان به سرعت بحرانی در آستانه ی حرکت ذرات رسوب نزدیک باشد

1-2-2. اندازه پایه ها :

برای از بین رفتن تأثیر دیوارهای کانال روی آب شستگی موضعی در اطراف پایه طبق معیاری که توسط اتما و رودکیوی (1983) بیان شده است حداقل نسبت عرض کانال به عرض پایه باید $6/25$ باشد [8]. با توجه به عرض محدودی کانال و آرایش انتخاب شده برای گروه پایهها که در قسمت بعدی توضیح داده خواهد شد، قطر پایه برابر 30 میلیمتر انتخاب شد .

2-2-2. اندازه ذرات و دانه بندی رسوب :

عدم یکنواختی ذرات رسوب نیز باعث کاهش عمق متعادل آب شستگی میگردد. برای حذف تاثیر غیریکنواختی رسوبات بر آب شستگی موضعی انحراف معیار هندسی ذرات باید کمتر از $1/3$ باشد [9].

$$\sigma_g = \left(\frac{d_{84.1}}{d_{15.9}} \right)^{0.5} < 1.3 \quad (2)$$

این رسوبات دارای قطر بزرگ تر از $0/59$ و کوچکتر از $0/85$ میلی متر بودند. با توجه به شکل رسوبات دارای $d_{\Delta} \cong 0/7$ و $\sigma = 1/23$ می باشند که شرایط ذکر شده در بالا را تامین می کند [6].

3-2-2. سرعت جریان

سرعت جریان در تمامی این آزمایشات، $0/9$ سرعت بحرانی در نظر گرفته شد. با استفاده از این سرعت عمق جریان محاسبه گردیده و در تمامی آزمایشات این عمق مورد استفاده قرار گرفت.

در عمق 21 سانتیمتر: $U_c = 0.9 \times 28 \Rightarrow U_c = 25/2 \text{ cm/s}$ $y_c = 21 \text{ cm}$
عدد فرود برای کلیه آزمایشات معادل 18/0 بدست آمد.

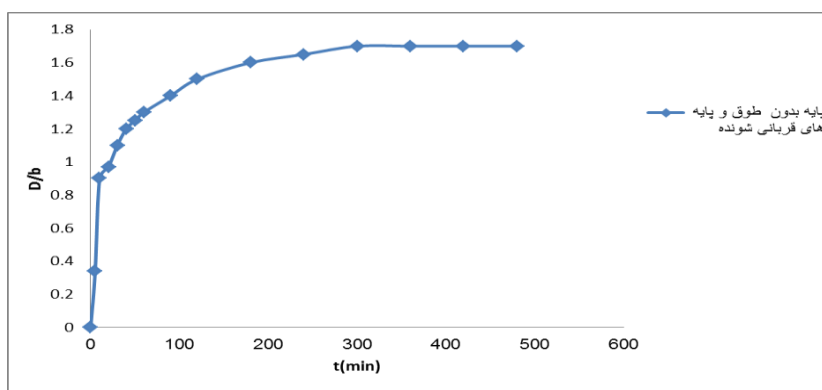
4-2-2. معیار زمان تعادل

معیار زمان تعادل در این آزمایش ها معیاری است که کومار و همکاران (1999) در تحقیقات خود در نظر گرفتند و مطابق این معیار مدت زمانی است که تغییرات عمق آبخستگی در سه ساعت متوالی بیشتر از یک میلیمتر نباشد. به این ترتیب تمامی آزمایش ها تا مدت زمانی ادامه داشتند که این شرایط در آن ها صادق بود. از آنجا که نزدیک به 80 درصد عمق آب شستگی در 8 ساعت اول انجام آزمایش اتفاق افتاده است تمامی آزمایشهای این تحقیق، در مدت زمان 8 ساعت انجام شده است [7].

3. نتایج و بحث

3-1. آزمایش بدون طوق و پایه های قربانی شونده (آزمایش های شاهد)

توسعه زمانی عمق آبخستگی پایه بدون قربانی شونده ها در نمودار (1) نشان داده شده است. در این شکل محور عمودی بر حسب نسبت عمق آبخستگی به قطر پایه (D/b) و محور افقی بر حسب زمان قرائت عمق آبخستگی (t) بیان گردیده است. برای سایر نمودارهای مربوط به بخش توسعه زمانی آبخستگی، پارامترهای محورهای افقی و عمودی به همین صورت تعریف خواهند شد. با توجه به شکل مشاهده می شود که 80% آبخستگی در 90 دقیقه ابتدایی و 90% آبخستگی بعد از 4 ساعت و همچنین زمان تعادل در تک پایه با توجه به شکل حدود 8 ساعت بوده است. بنابراین حدود 90% عمق آبخستگی در نیمی از زمان تعادل اتفاق افتاده است.

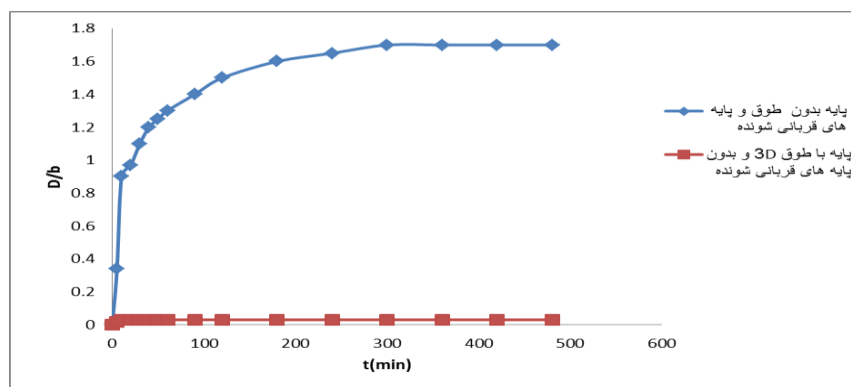


نمودار (1): نمودار توسعه زمانی عمق آبخستگی در پایه استوانه ای بدون طوق و پایه های قربانی شونده

3-2. آزمایش با طوق بدون پایه های قربانی شونده

نمودار (2) توسعه زمانی عمق آبخستگی را در پایه استوانه ای با طوق (3D) و مقایسه آبخستگی با تک پایه استوانه ای را نشان میدهد. با مقایسه نمودار توسعه زمانی آبخستگی تک پایه استوانه ای و پایه استوانه ای با طوق مشاهده می شود که در تمام مدت زمان آزمایش، عمق آبخستگی پایه استوانه ای بدون طوق بیشتر از عمق آبخستگی پایه استوانه ای با طوق بوده است، و عمق

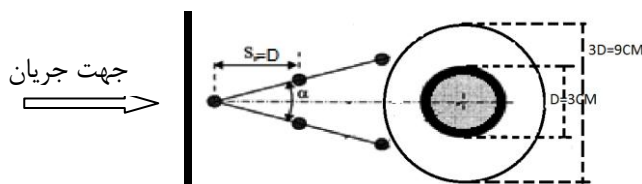
آبشستگی را حدود 92 درصد کاهش داده است. دلیل این موضوع را میتوان اینگونه توجیه نمود که پدیده حفاظتی باعث کاهش عمق آبشستگی پایه با طوق نسبت به پایه بدون طوق شده است.



نمودار (2): نمودار توسعه زمانی عمق آبشستگی پایه با طوق (3D) و مقایسه آن با پایه بدون طوق

3.3. آزمایش های با پایه های قربانی شونده

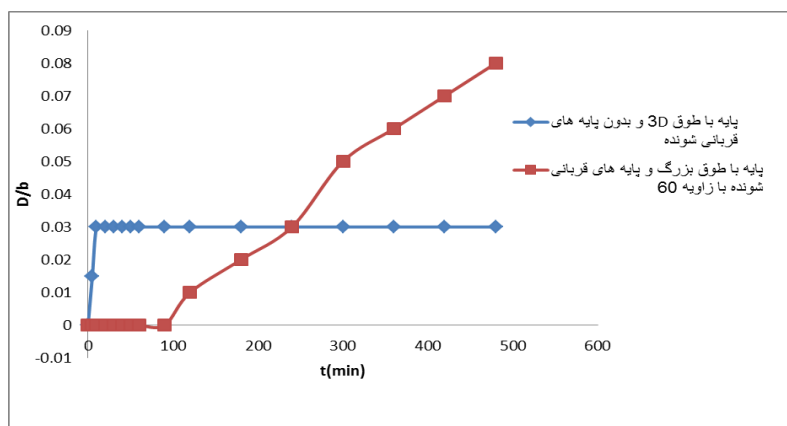
در این آزمایش ها 5 شمع با قطر یکسان در بالادست پایه اصلی با آرایش مثلثی شکل و یک طوق به قطر (3D) و به ضخامت ناچیز روی بستر نصب شده اند. نحوه آرایش پایه ها و نصب طوق در شکل (2) نشان داده شده است.



شکل (2): آرایش و ابعاد قرار گیری پایه های قربانی شونده در بالادست پایه پل و شکل قرار گیری طوق

3.3.1- آزمایش با طوق و با پایه های قربانی شونده زاویه 60 درجه

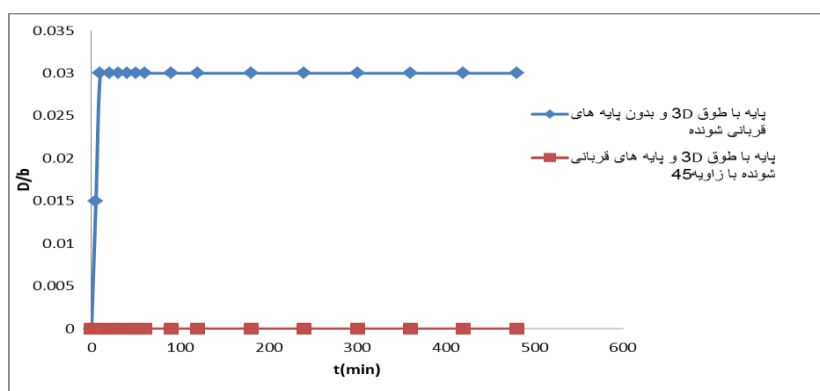
نمودار (3) توسعه زمانی عمق آبشستگی را در پایه های قربانی شونده با زاویه 60 درجه همراه با طوق و مقایسه آبشستگی با تک پایه استوانه ای با طوق و بدون پایه های قربانی شونده را نشان میدهد. با مقایسه نمودار توسعه زمانی آبشستگی تک پایه استوانه ای و طوق با تک پایه استوانه ای با طوق و پایه های قربانی شونده با زاویه 60 درجه مشاهده می شود که در تمام مدت زمان آزمایش، بر خلاف تصور عمق آبشستگی پایه استوانه ای با طوق و بدون پایه های قربانی شونده کمتر از عمق آبشستگی پایه استوانه ای با طوق و با پایه های قربانی شونده بوده است، و عمق آبشستگی را حدود 12 درصد کاهش یافته است. دلیل این موضوع را میتوان این گونه توجیه نمود که پدیده حفاظتی (پایه های قربانی شونده) باعث افزایش عمق آبشستگی پایه با طوق و بدون پایه های قربانی شونده شده است.



نمودار (3): نمودار توسعه زمانی عمق آبشستگی پایه با طوق و پایه های قربانی شونده با زاویه 60 و مقایسه آن با پایه با طوق

3-3-2. آزمایش با طوق و با پایه های قربانی شونده با زاویه 45 درجه

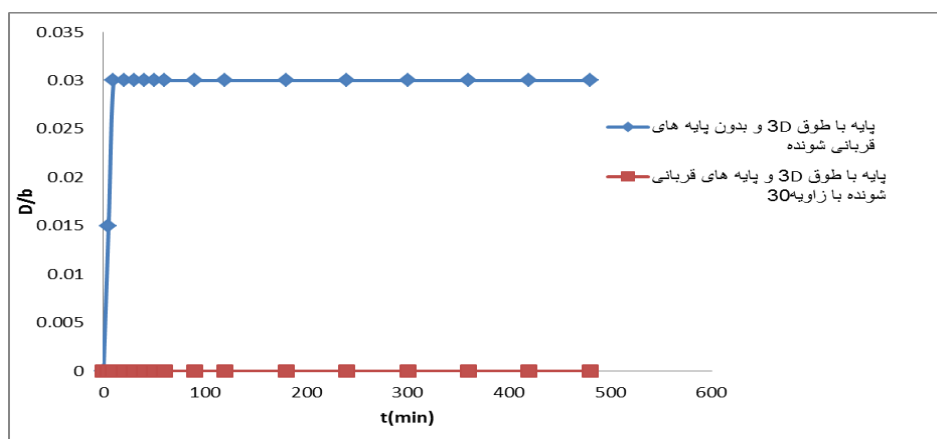
نمودار (4) توسعه زمانی عمق آبشستگی را در پایه استوانه ای با طوق و با پایه های قربانی شونده با زاویه 45 درجه و مقایسه آبشستگی با تک پایه استوانه ای با طوق و بدون پایه های قربانی شونده را نشان می دهد. با مقایسه نمودار توسعه زمانی آبشستگی مشاهده می شود که در تمام مدت زمان آزمایش، عمق آبشستگی پایه استوانه ای با طوق و با پایه های قربانی شونده کمتر از عمق آبشستگی پایه استوانه ای با طوق و بدون پایه های قربانی شونده بوده است. که حدود 80 درصد عمق آبشستگی پایه استوانه ای کاهش یافته است.



نمودار (4): نمودار توسعه زمانی عمق آبشستگی پایه با طوق و با پایه های قربانی شونده با زاویه 45 و مقایسه آن با پایه با طوق

3-3-3. آزمایش با طوق و با پایه های قربانی شونده با زاویه 30 درجه

نمودار (5) توسعه زمانی عمق آبشستگی را در تک پایه استوانه ای با طوق و با پایه های قربانی شونده با زاویه 30 درجه و مقایسه آبشستگی با تک پایه استوانه ای با طوق و بدون پایه های قربانی شونده را نشان می دهد. با مقایسه نمودار توسعه زمانی آبشستگی مشاهده می شود که در تمام مدت زمان آزمایش، عمق آبشستگی پایه استوانه ای با طوق و با پایه های قربانی شونده صفر بوده است. این کاهش عمق آبشستگی به دلیل رسوب رسوبات شسته شده از اطراف پایه های قربانی شونده در کنار پایه پل و ایجاد منطقه کم فشار ناشی از حضور طوق است.



نمودار (5): نمودار توسعه زمانی عمق آبشستگی پایه با طوق و با پایه های قربانی شونده با زاویه 30° و مقایسه آن با پایه با طوق

4. نتیجه گیری

در تحقیق حاضر با استفاده همزمان از طوق و پایه های قربانی شونده در زاویه های مختلف به منظور مطالعه کاهش آبشستگی موضعی در تک پایه استوانه ای استفاده شد. نتایج نشان داد که به طور کلی استفاده از طوق در کاهش عمق آبشستگی موثر است، و با کاهش زاویه شمع ها به علت ایجاد منطقه ضعیف وسیع تر و نشست بیشتر رسوبات بلند شده از مقابل پایه های قربانی شونده، عمق آبشستگی بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. افزایش کارایی حضور طوق با پایه های قربانی شونده با کاهش زاویه بین آن ها از 60 به 45 و به 30 درجه به ترتیب 92 و 100 و 100 درصد بوده است.

منابع

- [۱] راهنمای روش های محاسبه آبشستگی موضعی. نشریه شماره 549.
- [۲] شفاعی بجستان م. (1373). هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [3] Alabi, P. D. (2006) Time development of local scour at bridge pier fitted with a collar. MS thesis, University of Saskatchewan, Canada.
- [4] Breusers, H. N. C., Nicollet, G. and Shen, H. W. (1997) Local scour around cylindrical piers. Journal of
- [5] Chiew, Y. M. (1992) Scour protection at bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 118(9), 1260- 1269.
- [6] Heidarpour, M., Khodarahmi, Z. and Mousavi, S. F. (2003), "Control and reduction of local scour at bridge pier groups using slot.", XXX IAHR Congress, AUTH, Thessaloniki, Greece, Vol. 2, pp. 301-307.
- [7] Kumar, V., Ranga Raju, K. G. and Vittal, N. (1999), "Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars", J. Hyd. Eng., ASCE, Vol. 125, No. 12, pp. 1302-1305.
- [8] Raudkivi, A. J., and Ettema, R., (1983), "Clear-water scour at cylindrical piers", J. Hyd. Engrg., ASCE, Vol. 109, No. 3, pp. 338-350
- [9] Raudkivi, A. J., 1998, "Loose boundary hydraulics", A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherland
- [10] Zarrati, A.R., Nazariah, M. and Mashahir, M.B. (2006) Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 132(2), 154-162.