

بررسی اثر هم‌زمان صفحات مستغرق و شکاف بر میزان آبستگي

پایه پل

محسن مظلوم خراسانی^۱، سعید رضا خداشناس^{۲*}، کاظم اسماعیلی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۸

چکیده

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که روش‌های زیادی برای کاهش آبستگي اطراف پایه‌های پل مورد تحقیق قرار گرفته است. اما استفاده توأم از صفحات دوگانه و شکاف مورد توجه قرار نگرفته است. در تحقیق حاضر هدف تعیین تاثیر توأم صفحات دوگانه و شکاف بر میزان آبستگي می‌باشد. برای این منظور کاهش میزان آبستگي با نصب یک سری صفحات مستغرق به صورت دوگانه، با طول و زاویه‌های قرارگیری مختلف مورد بررسی قرار گرفت. فاصله قرارگیری این صفحات در چهار موقعیت مختلف (S_1 الی S_4) نسبت به پایه پل انتخاب شد. قطر پایه ۳ سانتی‌متر و نسبت طول صفحات به قطر پایه برابر $0/33$ ، $0/66$ و 1 و زوایای قرارگیری زوج صفحات نیز در چهار زاویه 10° ، 20° ، 30° و 90° درجه نسبت به جهت جریان انتخاب شدند. آزمایش‌ها بر روی پایه‌های شکافدار با عرض $0/25$ قطر پایه و ارتفاع 2 برابر قطر پایه انجام گردید. آزمایشات نشان داد در صورت استفاده از پایه شکافدار تنها عمق آبستگي نسبت به پایه شاهد 21% کاهش می‌یابد. اما هنگامی که از صفحات و شکاف به صورت هم‌زمان استفاده می‌شود میزان کاهش آبستگي می‌تواند خیلی بیش‌تر شود. انجام آزمایشات در موقعیت‌های S_1 و S_3 نتایج بهتری را در کاهش حداکثر عمق آبستگي نسبت به پایه شاهد نشان دادند. به‌طوریکه در موقعیت S_3 در تمامی حالت‌های طول صفحات و زاویه قرارگیری، حداقل کاهش عمق آبستگي نسبت به پایه شاهد 40% درصد بود. در این حالت بهترین نتیجه در طول صفحات 2 سانتی‌متر و زاویه‌های قرارگیری 10° و 30° درجه بدست آمد که حاکی از کاهش حدود 86% درصدی عمق آبستگي نسبت به پایه شاهد بود.

واژه‌های کلیدی: آبستگي موضعی، تیغه‌های مستغرق، پایه استوانه‌ای، پایه شکافدار

مقدمه

چندانی در کاهش آبستگي ندارد و استفاده از طوق با قطر بیش از چهار برابر قطر پایه نیز از نظر شرایط اجرا و هزینه‌های لازم دارای توجیه نمی‌باشد (Zarrati et al., 2004). افراد زیادی نظیر حیدرپور (Heidarpour., 2002) و شریعتی و همکاران (۱۳۹۰) کاهش و کنترل آبستگي موضعی را با استفاده از طوق و شکاف توأم مورد بررسی قرار دادند.

روش دیگر در حفاظت از پایه پل‌ها استفاده از صفحات (وین) مستغرق است. پس از آن لوچلون (Lauchlan., 1999)، گروه صفحات مستغرق با طول و ارتفاعات مختلف را مورد استفاده قرار داد که نتیجه آن کاهش 10% تا 28% درصدی آبستگي گزارش شد. قربانی و کریمی (۱۳۸۶) تاثیر صفحات مستغرق منفرد و دوپل را در کاهش آبستگي پایه‌های پل از طریق مطالعه آزمایشگاهی بررسی کردند، آن‌ها نتیجه گرفتند که استفاده از دو صفحه مستغرق نسبت به یک صفحه در کاهش عمق آبستگي موثرتر است در حالت استفاده از دو صفحه مستغرق بیش‌ترین کاهش در عمق آبستگي در موقعیت 30° درجه نسبت به مرکز پایه و به میزان $87/7\%$ درصد اتفاق افتاد و در

پل‌ها به‌عنوان یکی از زیر ساخت‌های مهم خطوط ارتباطی کشورها به شمار می‌روند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که آبستگي اطراف پایه پل یکی از عوامل اصلی تخریب پل‌ها بوده چنانکه در سال 1988 در پنسیلوانیا و ویرجینیا غربی، 73 پل به علت آبستگي خراب شدند (Alabi., 2006). روش‌های مختلفی برای کاهش عمق آبستگي در دهه‌های گذشته مورد مطالعه قرار گرفتند. استفاده از طوق، شکاف، طوق و شکاف توأم و صفحات پروانه‌ای از جمله این روش‌ها می‌باشند. زراتی و همکاران عنوان کردند اگر قطر طوق بین 2 تا 4 برابر قطر پایه باشد تاثیر قابل توجه‌ای بر روی کاهش آبستگي دارد. به عبارتی استفاده از طوق با قطر کمتر از دو برابر قطر پایه تاثیر

۱- کارشناس ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

سانتی‌متر در روی بستر و زاویه ۳۰ درجه می‌باشد. در این حالت عمق آبستگي برای پایه با زاویه صفر، ۵ و ۱۰ درجه با امتداد جریان به ترتیب ۲۸، ۴۰ و ۴۶ درصد کاهش را نشان داد. شجاعی و همکاران (۱۳۹۱) از ۲، ۴ و ۶ صفحه مستغرق در آرایش‌های مختلف و با قطر پایه ۶ سانتی‌متری برای کاهش عمق آبستگي استفاده کردند. آزمایشات آن‌ها نشان داد که کاربرد ۶ صفحه مستغرق می‌تواند میزان عمق آبستگي را تا ۵۱٪ کاهش دهد. پرچمی و همکاران (۱۳۹۶) تاثیر شکل صفحات مستغرق بر آبستگي پایه پل را بررسی کردند.

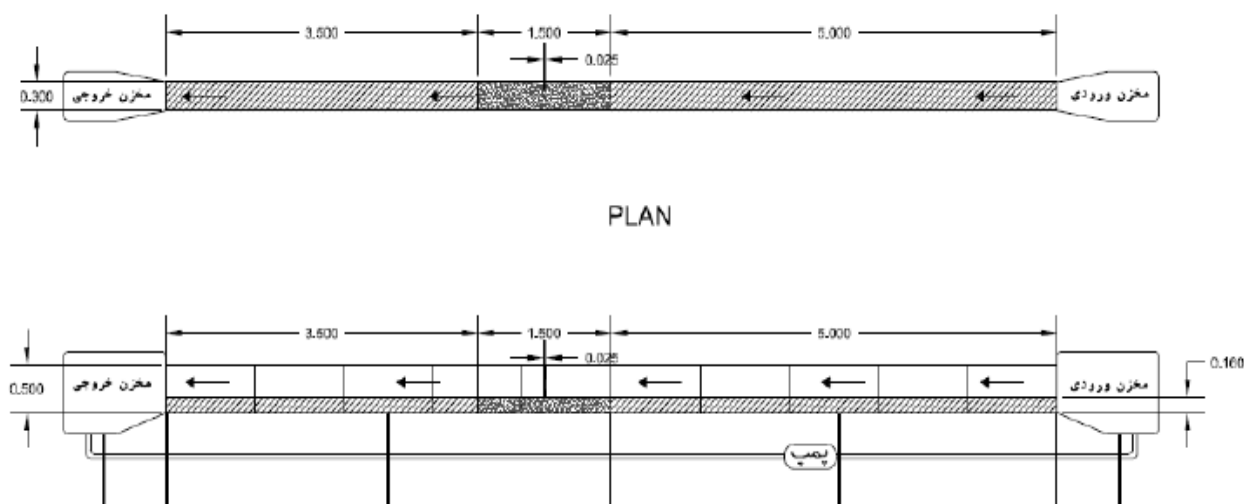
بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که استفاده توام از صفحات دوگانه و شکاف مورد توجه قرار نگرفته است. در تحقیق حاضر هدف تعیین تاثیر توام صفحات دوگانه و شکاف بر میزان آبستگي می‌باشد.

مواد و روش‌ها

-تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌های این تحقیق در مجتمع آزمایشگاهی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. کانال مورد استفاده دارای طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۱۰ متر، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر بود. سیستم پمپاژ کانال به صورت مدار چرخشی و با حداکثر دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه که توسط یک شیر فلکه قابل تنظیم، مورد استفاده قرار گرفت. اندازه‌گیری دبی جریان در بالادست توسط یک سرریز لبه تیز مستطیلی با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و طول تاج ۳۴/۵ سانتی‌متر که به وسیله روش حجمی کالیبره شده بود، صورت گرفت (شکل ۱).

حالت استفاد از یک صفحه مستغرق بیش‌ترین کاهش در عمق آبستگي در زاویه درجه و ارتفاع صفر و به میزان ۸/۵ درصد اتفاق افتاد. قربانی و کلز با انجام یک گروه آزمایشات بر روی صفحه منفرد و دوگانه درزواپای حمله متفاوت، ارتفاعات متفاوت صفحه و شرایط مختلف جریان، کاهش حداکثر ۱۷ درصدی برای صفحه منفرد و حداکثر ۸۳ درصد برای صفحات دوگانه گزارش کردند (Ghorbani and Kells., 2008). تفرج نوروز و همکاران شش روش کاهش آبستگي پایه پل را بررسی کردند. آن‌ها در آزمایش‌های خود بهترین تنظیمات ارائه شده در آزمایش‌های انجام شده توسط محققان دیگر را مورد بررسی قرار دادند و در مورد صفحات مستغرق به این نتیجه رسیدند که درصد کاهش آبستگي در صفحات مستغرق بسیار کم‌تر از موارد اعلام شده توسط محققان قبل می‌باشد و دلیل آن، مدت زمان کوتاه آزمایش و همچنین اثرات عمق شیار کم ($h/b < 2/5$) می‌باشد (Tafarajnoruz et al 2012). دبردانی (۱۳۸۸) با استفاده از صفحات دو گانه که در چهار موقعیت نسبت پایه و با ۵ طول مختلف که همگی ضرابی از قطر پایه بودند ($1/5D, 1D, 1.66D, 2D, 3D$) هم‌چنین ۳ زاویه قرار گیری ۲۰، ۳۰، ۴۰ درجه نسبت به جهت جریان آزمایشاتی را انجام داد که نتایج تحقیق او با نتایج این تحقیق مقایسه خواهند شد. حسینی و همکاران (۱۳۹۰) کاربرد صفحات مستغرق در کنترل آبستگي اطراف پایه‌های مستطیلی با دماغه گرد را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بیش‌ترین عملکرد در مورد زاویه، صفحات مربوط به زاویه ۳۰ درجه می‌باشد و با کاهش زاویه از عملکرد آن‌ها کاسته می‌شود. نتایج ایشان نشان داد که بهترین عملکرد مربوط به صفحات مستغرق با ارتفاع ۲/۵



شکل ۱ - نمای شماتیک بالا و روبرو کانال آزمایشگاهی.

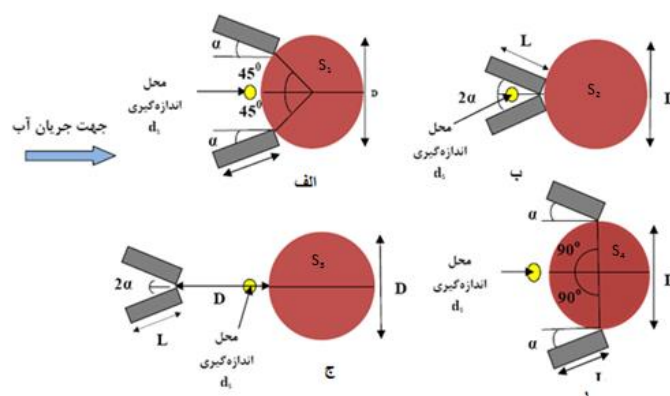
پارامترهای متغیر: زاویه قرارگیری صفحات نسبت به جهت جریان (α)، موقعیت صفحات و طول صفحات (L) در آزمایش‌ها به‌عنوان پارامترهای متغیر در نظر گرفته شدند تا بتوان تاثیر تغییر آن‌ها را با توجه به پارامترهایی که به صورت ثابت فرض شدند بدست آورد. چهار زاویه قرارگیری (α) ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۹۰ درجه نسبت به جهت جریان و چهار موقعیت قرارگیری (S_1 تا S_4) نسبت به پایه پل شکاف‌دار مورد استفاده قرار گرفتند. ضخامت تمامی صفحات ۳ میلی‌متر و قطر پایه ۳ سانتی‌متر انتخاب شدند. صفحات در سه طول (L) با نسبت‌ها ۱، ۰/۶۶، ۰/۳۳ در نظر گرفته شدند. همچنین شکافی به عرض ۰/۲۵ قطر پایه و ارتفاع ۲ برابر قطر پایه بر روی پایه ایجاد شد. علاوه بر این آزمایش شاهد بر روی پایه بدون شکاف و صفحات مستغرق انجام گرفت. پس از انجام کلیه آزمایشات تعدادی آزمایش بر روی پایه بدون شکاف و به همراه صفحات مستغرق انجام شد. موقعیت صفحات: شکل ۲ موقعیت‌های مختلف قرارگیری صفحات را با نمادهای (S_1 تا S_4) و شکل ۳ مدل پایه شکاف‌دار است.

برای آماده‌سازی بستر فرسایشی که پایه پل در آن نصب گردید، یک کف کاذب در تراز ۱۶ سانتی‌متری نسبت به کف به طول ۵ متر از بالادست و ۳/۵ متر از پایین دست قرار داده شد. بدین صورت یک ناحیه گود افتاده به طول ۱/۵ متر بین این دو قسمت که مواد رسوبی در آن ریخته شد ایجاد گردید. در این تحقیق اثر استفاده توأم صفحات دوگانه مستغرق بر روی یک پایه استوانه‌ای شکاف‌دار مورد بررسی قرار گرفت.

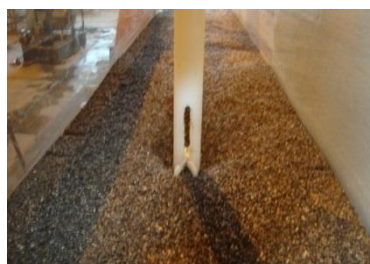
پارامترهای مختلف آزمایشات

پارامترهای متعددی بر آبشستگی موضعی موثر هستند. پارامترهای مختلفی که در آزمایشات در نظر گرفته شدند به صورت زیر تقسیم بندی شدند:

پارامترهای ثابت: پارامترهای ثابت در طول آزمایشات عبارتند از: شدت جریان (Q)، عمق جریان (y)، نوع و اندازه رسوبات (D_{50})، سطح مقطع کانال، شکل و قطر پایه پل (D)، شیب کف کانال (S)، ضخامت صفحات (e)، شتاب جاذبه (g) و چگالی آب (ρ)، عرض شکاف، ارتفاع شکاف.



شکل ۲- پلان و مشخصات پایه ی همراه با صفحات در موقعیت‌های مختلف الف- S_1 ب- S_2 ج- S_3 د- S_4



شکل ۳ - نمایی از شکاف ایجاد شده بر روی پایه استوانه‌ای در مجاورت بستر

در طول آزمایش‌ها، نه تنها هیچگونه جریان جانبی از دیواره دیده نشد، بلکه حفره آبشستگی در پایین دست هر آزمایش نیز به دیواره برخورد نکرد.

اندازه پایه پل: براساس نظر چيو و ملویل (Chiew, and Mellville., 1987) قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیش‌تر باشد که با انتخاب قطر پایه ۳ سانتی‌متر این معیار رعایت شد.

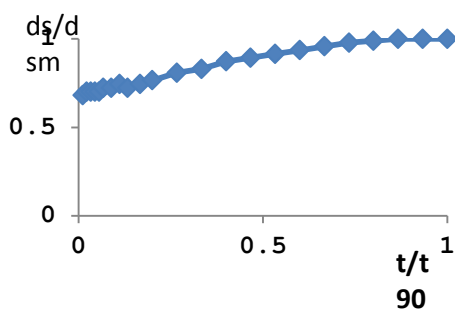
آزمایشات براساس تاثیر این پارامترها بر آبهستگی پی‌ریزی شد.

$$\frac{d_s}{D} = f\left(\frac{L}{D}, \alpha, S_n\right) \quad (3)$$

نتایج و بحث

آبهستگی پایه شاهد

باتوجه به اینکه عمق آبهستگی با زمان به‌صورت نمایی تغییر می‌کند، ابتدا زمان تعادل بستر و اتمام آبهستگی، در آزمایشات این تحقیق تعیین شد. شکل ۴ تغییرات عمق آبهستگی را نسبت به زمان نشان می‌دهد. در این شکل تغییرات نسبی عمق آبهستگی d_s/d_{se} نسبت زمان نهایی $t/t_{90\%}$ ترسیم شده است. d_s عمق آبهستگی، d_{se} عمق آبهستگی نهایی، t زمان آبهستگی و $t_{90\%}$ زمان تعادل آبهستگی نهایی (زمانی که آبهستگی به ۹۰٪ مقدار نهایی می‌رسد) را نشان می‌دهد. برای مشخص نمودن زمان تعادل، نخست آزمایشی به مدت ۱۵ ساعت روی مدل پایه ساده انجام شد و تغییرات زمانی آبهستگی ثبت گردید. نتایج مؤید آن بود که سرعت آبهستگی در لحظات اولیه زیاد می‌باشد و تقریباً درصد آبهستگی $(d_s/d_{se}=0.9)$ در ۷ ساعت اول آزمایش رخ می‌دهد. بعد از گذشت ۷ ساعت تغییرات عمق آبهستگی چندان محسوس بنظر نمی‌رسید. الگوی آبهستگی تقریباً متقارن بوده و عمق نهایی آبهستگی برابر با $4/7$ سانتی‌متر بدست آمد.



شکل ۴ - تغییرات زمانی عمق آبهستگی (پایه شاهد)

عمق آبهستگی محاسبه شده به‌وسیله فرمول جین و فیشر (Jain and Fisher., 1980) برابر با $4/6$ سانتی‌متر بود که با مقدار بدست آمده از این آزمایش نزدیک بود. همچنین با استفاده از فرمول دانشگاه ایالتی کلرادو (احمد و همکاران، 2005) (Ahmed et al., 2005) مقدار برابر با $5/8$ سانتی‌متر بدست آمد که حدود ۲۳ درصد اختلاف نشان داد (شکل ۵).

- اندازه و دانه‌بندی ذرات: طبق تحقیقات رادکیوی برای اجتناب از تشکیل فرم بستر (ریپل) قطر متوسط ذرات بایستی بزرگ‌تر از 0.7 میلی‌متر باشد. (Raudkivi., 2002) همچنین برای حذف اثر رسوبات روی عمق آبهستگی باید $25 - 20 > D/D_{50}$ باشد. بنابراین از رسوباتی با $D_{50}=0.8$ میلی‌متر استفاده شد. در نتیجه نسبت D/D_{50} در این آزمایشات برابر $31/25$ بدست آمد. از آنجایی که رسوبات رودخانه‌ای عمدتاً شن و ماسه گردگوشه می‌باشند، در تحقیق حاضر نیز از مواد طبیعی رودخانه استفاده شد، که با عبور از الک‌های متوالی سعی در بدست آوردن مواد یکنواخت گردید. چگالی مصالح G_s بدست آمده از طریق محاسبه حجم و وزن بخشی از آن در آزمایشگاه $2/65$ بدست آمد.

- عمق جریان: اگر عمق نسبی جریان یعنی y/D مقدار قابل توجهی باشد، اثر موج کمائی (گرداب سطحی) بر آبهستگی از بین می‌رود. در این آزمایشات رابطه $y/D > 3/5$ برقرار بود، چرا که براساس نظر چپو و ملویل (Chiew and Mellville., 1987) در این حالت عمق جریان تأثیری برحفره آبهستگی ندارد. برای اندازه‌گیری عمق از عمق‌سنج با دقت ± 0.1 میلی‌متر استفاده شد.

- تحلیل ابعادی

عمق آبهستگی d_s به عوامل متعددی بستگی دارد. تحقیقات گذشته نشان داد که ۱۲ عامل مختلف بر عمق آبهستگی موثرند که عبارتند از: ρ چگالی آب، v لزجت سینماتیک آب، D قطر پایه، u سرعت جریان، D_{50} قطر متوسط ذرات، σ انحراف معیار ذرات، y عمق جریان، g شتاب جاذبه، B عرض کانال، L طول صفحات، α زاویه قرارگیری صفحات و S_n موقعیت قرارگیری صفحات.

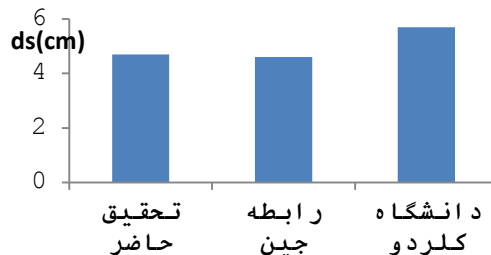
$$d_s = f(\rho, v, D, u, D_{50}, \sigma, y, g, B, L, \alpha, S_n) \quad (1)$$

با کاربرد تئوری بایکنگهام و فرض پارامترهای ρ و D به‌عنوان متغیرهای تکراری (سیال، هندسی و جریان)، رابطه کلی برای تعیین آبهستگی به صورت معادله ۲ حاصل شد.

$$\frac{d_s}{D} = f\left(\frac{uD}{v}, \frac{u^2}{gD}, \frac{D}{D_{50}}, \frac{y}{D}, \frac{L}{D}, \frac{B}{D}, \sigma, \alpha, S_n\right) \quad (2)$$

از تقسیم دو پارامتر بی بعد u^2/gD و y/D مجذور عدد فرود $Fr^2 = u^2/gy$ بدست می‌آید. همچنین حاصل ضرب (uD/v) در y/D عدد رینولدز جریان $Re = uy/v$ را نتیجه می‌دهد. باتوجه به آشفته بودن جریان از اثر عدد رینولدز صرف‌نظر شد. از طرفی با توجه به ثابت بودن دبی، عرض، زبری و شیب کانال عمق جریان و عدد فرود مقداری ثابت بدست می‌آید و از اعداد بی‌بعد حذف می‌شود. همچنین با ثابت بودن قطر پایه، قطر ذرات، عرض کانال و مشخصات ذرات اعداد بی‌بعد σ ، D/D_{50} ، D/B نیز در آزمایشات ثابت بوده و حذف می‌شوند. بنابراین رابطه ۲ تبدیل به رابطه ۳ خواهد شد، و اساس

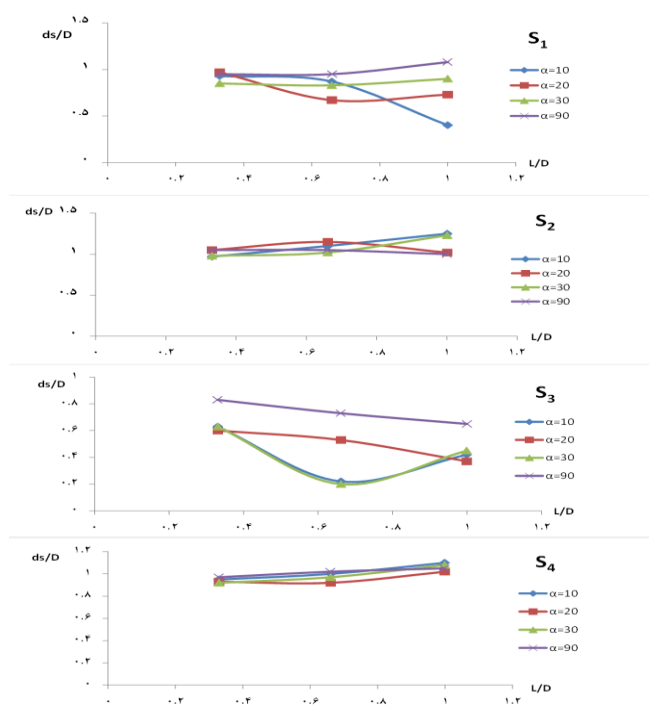
آبشستگی نسبت به پایه شاهد داشت. این مقدار در آزمایشات شریعتی (۱۳۸۸) ۲۱٪ بدست آمد. در این آزمایشات عمق جریان ۱۰/۵ سانتی‌متر، قطر پایه ۲/۵ سانتی‌متر و شکاف ۰/۵ سانتی‌متر بالاتر از سطح بستر قرار داشت.



شکل ۵- مقایسه عمق نهایی آبشستگی در تحقیقات مختلف

آبشستگی در پایه شکاف دار

این آزمایش بر روی پایه دارای شکاف به عرض $0.25D$ و ارتفاع $2D$ در مدت زمان ۷ ساعت انجام شد. عمق آبشستگی در این آزمایش $3/2$ سانتی‌متر بدست آمد که نشان از کاهش ۲۵٪ عمق



شکل ۶- تغییرات پارامتر ds/D در مقابل L/D در زاویه های مختلف صفحات در موقعیت S_1 تا S_4

از شکل ۷ دیده می‌شود، در موقعیت S_1 ، با زاویه ۹۰ درجه و طول صفحات ۳ سانتی‌متر کاهش آبشستگی ۲۳ درصد بدست آمده است، که نسبت به سایر موارد نامناسب‌ترین شرایط را نشان داد. علت آن را می‌توان به اینصورت بیان کرد که در این حالت زوج صفحات در کنار پایه و با بیش‌ترین طول و بیش‌ترین زاویه ممکن بوده و انسداد بیش‌تری نسبت به سایر حالات ایجاد کردند و همین امر موجب کاهش میزان بازدهی شده است. در تحلیل کامل‌تر این که چرا در کل نتایج بدست آمده، موقعیت S_3 بهتر از موقعیت S_1 است، می‌توان به همین شیوه بیان نمود که به‌طور

چنانکه مشاهده می‌شود رفتار صفحات در موقعیت‌های مختلف یکسان نبوده و این مستقیماً مربوط به نحوه اثرگذاری آن‌ها بر جریان می‌باشد. جدول ۱ میزان اثر صفحات مستغرق تحت شرایط مختلف بر کاهش عمق آبشستگی را ارائه می‌نماید.

به‌طوریکه ملاحظه می‌گردد در همه حالات موقعیت S_3 بیش‌ترین اثر و موقعیت S_2 کم‌ترین اثر را بر کاهش آبشستگی پایه پل دارند. در این حال موقعیت S_3 تحت زاویه ۳۰ درجه و $L/D=0.66$ میزان آبشستگی را تا ۸۶ درصد کاهش می‌دهد.

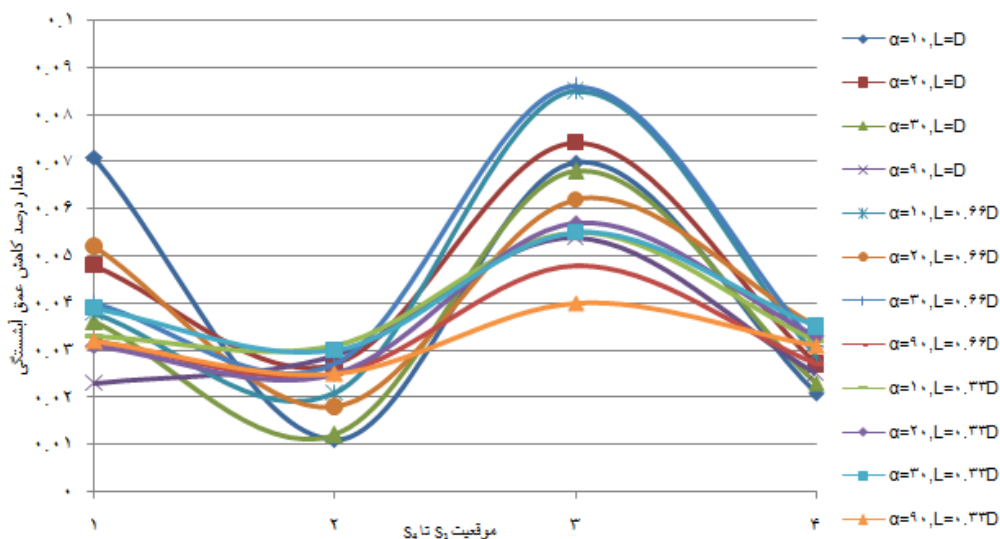
جمع‌بندی کل آزمایشات در شکل ۷ رسم شده است. همانطور که

بتوان این چنین بیان نمود که چون فاصله زوج صفحات در موقعیت S_2 تا محل راس پایه از فاصله زوج صفحات در موقعیت S_1 تا راس پایه کمتر است سبب تشدید گرداب نعل اسبی در این موقعیت می شود که این نیز سبب افزایش میزان عمق آبستگي خواهد شد.

کل حالت های موقعیت S_3 انسداد جریان کمتری را در جریان نسبت سایر حالات ایجاد می کند و همین امر سبب بهتر عمل کردن صفحات در حالت S_3 می شود. در کل در این آزمایشات ضعیف ترین نتایج بدست آمده مربوط به حالت S_2 بوده است. دلیل این که چرا نتایج بدست آمده در این حالت ضعیف تر از حالت S_1 است را شاید

جدول ۱- درصد کاهش حداکثر عمق آبستگي نسبت به پایه شاهد در موقعیت های مختلف

α	موقعیت	L/D		
		۰/۳۳	۰/۶۶	۱/۳۳
۱۰	S_1	۳۳	۳۵	۷۰
	S_2	۳۱	۲۱	۱۱
	S_3	۵۵	۸۰	۷۰
	S_4	۳۹	۲۹	۲۱
۲۰	S_1	۳۱	۵۲	۴۸
	S_2	۲۵	۱۸	۲۷
	S_3	۵۷	۶۲	۷۴
	S_4	۳۳	۳۵	۲۷
۳۰	S_1	۳۹	۴۰	۳۶
	S_2	۲۰	۲۷	۱۲
	S_3	۵۵	۸۶	۶۷
	S_4	۲۶	۳۱	۲۳
۹۰	S_1	۳۲	۳۲	۲۳
	S_2	۲۵	۲۵	۲۹
	S_3	۴۰	۴۸	۵۴
	S_4	۳۱	۲۷	۲۵



شکل ۷- مقادیر درصدی کاهش عمق آبستگي نسبت به پایه شاهد با تغییر در موقعیت ها و در زاویه (α) و L/D مشخص

مقایسه با نتایج سایر محققین

دبردانی (۱۳۸۸) نیز بر روی تاثیر صفحات مستغرق کار کرد. اما آزمایشات این محقق بر روی پایه بدون شکاف بود. آزمایشات او در کانالی به طول ۱۴ متر، عرض ۱/۵ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شد و رسوبات استفاده شده در آزمایشات از نوع غیر چسبنده، با دانه‌بندی یکنواخت و با قطر متوسط ۱ میلی‌متر انتخاب شد. مدل پایه پیل با قطر ۷/۶ سانتی‌متر و صفحات مستغرق به صورت دوگانه و با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و ضخامت ۱ سانتی‌متر و با سه زاویه قرارگیری مختلف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ استفاده شدند. برای مقایسه با نتایج این محقق تعدادی آزمایش بر روی پایه استوانه‌ای با همان ابعاد قبلی و در حالت بدون شکاف انجام شد. طول صفحات، زاویه حمله و موقعیت قرارگیری صفحات در این آزمایشات بدین گونه انتخاب شدند که با توجه به نتایج حاصل از آزمایشات پایه شکاف‌دار ۱۰ آزمایشی که بیش‌ترین تاثیر را بر کاهش آبشستگی داشتند انتخاب شدند و پارامترهای ذکر شده از روی آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند. جدول ۲ نتایج حاصل از این تحقیق و آزمایشات مربوط به دبردانی (۱۳۸۸) را نشان می‌دهد. اعداد این جدول درصد کاهش عمق آبشستگی بدست آمده در هر آزمایش نسبت به عمق آبشستگی پایه شاهد را نشان می‌دهند.

در کل آزمایشات کم‌ترین کاهش آبشستگی بدست آمده مربوط به موقعیت S_2 در زاویه ۱۰ درجه و طول ۳ سانتی‌متر بود که ۱۱ درصد بدست آمد. نتیجه دیگری که می‌توان بدست آورد این است که علت اصلی کاهش عمق آبشستگی در حالت‌های S_2 و S_4 مربوط به وجود شکاف در پایه بوده است و احتمالاً اثر صفحات مستغرق تشدیدکننده آبشستگی است.

در موقعیت‌های S_1 و S_3 با کاهش طول صفحات و افزایش زاویه قرارگیری آن‌ها، میزان کمی اعداد بدست آمده در هر کدام از این موقعیت‌ها کاهش یافت. همچنین در موقعیت‌های S_2 و S_4 با کاهش طول صفحات و افزایش زاویه قرارگیری آن‌ها سیر صعودی مشاهده می‌شود. یعنی در موقعیت‌های S_1 و S_3 طول صفحات کوتاه‌تر و زاویه‌های قرارگیری بزرگ‌تر، بازدهی بیش‌تری دارند.

به همین صورت در موقعیت‌های S_2 و S_4 طول صفحات بلندتر و زاویه‌های قرارگیری کوچک‌تر بازدهی بیش‌تری دارند.

از دیگر نتایج بدست آمده از این آزمایشات می‌توان به سیر نزولی و صعودی در اعداد بدست آمده اشاره کرد. به‌طوریکه در هر طول و زاویه قرارگیری صفحات، از موقعیت S_1 به S_4 ، نتایج بدست آمده یک سیر نزولی و صعودی را طی کردند و یک روند ثابت ندارند.

جدول ۲- مقایسه نتایج درصد کاهش عمق آبشستگی حاصل از آزمایش‌های این تحقیق با دبردانی (۱۳۸۸)

	α	L/D	تحقیق حاضر	تحقیق حاضر	دبردانی
			(پایه شکاف دار)	(پایه بدون شکاف)	(پایه بدون شکاف)
S_1	۲۰	۰/۶۶	%۵۲	%۰	-%۳۵
	۲۰	۱	%۴۸	-%۲۹	-%۱۳
S_2	۱۰	۰/۳۳	%۳۱	%۸	۰
	۲۰	۱	%۲۷	-%۱۷	%۷
S_3	۱۰	۰/۶۶	%۸۵	%۴۴	-%۱۷
	۲۰	۰/۳۳	%۵۷	%۲۶	%۶
	۲۰	۰/۶۶	%۶۲	%۲۷	-%۲۱
	۲۰	۱	%۷۴	%۶۰	-%۹
	۳۰	۰/۳۳	%۵۵	%۲۰	%۲۳
	۳۰	۰/۶۶	%۸۶	%۳۵	-%۱۰
	۳۰	۱	%۶۸	%۴۸	%۱۲

صفحات، دانه‌بندی ذرات، اندازه قطر پایه، عمق جریان، عرض کانال، سرعت جریان و خطاهای آزمایشگاهی. تمامی این پارامترها در آزمایشات دبردانی مقدار بیش‌تری نسبت به تحقیق حاضر داشتند. مثلاً ضخامت بیش‌تر صفحات در آزمایش دبردانی نسبت به این تحقیق خود سبب ایجاد انسداد بیش‌تر در جریان می‌شود. همچنین سرعت بیش‌تر جریان سبب تشدید قدرت گرداب نعل اسبی می‌شود.

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که در بعضی موارد اختلاف قابل توجهی بین نتایج این تحقیق با نتایج دبردانی (۱۳۸۸) وجود دارد. به عبارتی در موقعیت‌های مشابه قرارگیری صفحات، زاویه‌ها و همچنین نسبت‌های مشابه بین طول صفحات و قطر پایه نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج دبردانی اختلاف چشمگیری دارند. این اختلاف می‌تواند ناشی از موارد زیر باشند: اختلاف در ضخامت

نشریه دانش آب و خاک، ۲۷: ۱، ۲۹-۴۱.

دبردانی، ا.، ۱۳۸۸. بررسی تاثیر صفحات دوگانه مستغرق در کاهش و کنترل آبشستگی کنار پایه استوانه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهرکرد.

حسینی، س.ح.، حسین‌زاده‌دلیر، ع.، فرسادی‌زاده، د.، ارونقی، ه. و قربانی، م.ع.، ۱۳۹۰. تاثیر توام صفحات مستغرق و طوق در کاهش پایه‌های مستطیلی با دماغه گرد. نشریه دانش آب و خاک، ۲۲: ۳، ۸۷-۱۰۱.

شریعتی، ح.، خدائیان، س.ر. و اسماعیلی، ک.، ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی کارکرد طوق و شکاف بر میزان آبشستگی موضعی در پایه پل، نشریه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۳: ۱، ۸۵-۹۳.

شجاعی، پ.، فرسادی‌زاده، د.، حسین‌زاده‌دلیر، د.، سلماسی، ف. و قربانی، م.ع.، ۱۳۹۱. کاربرد صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی پایه استوانه‌ای پل‌ها. نشریه دانش آب و خاک، ۲۲: ۱، ۹۱-۱۰۸.

قربانی، ب.، کریمی، ا.، ۱۳۸۶. مقایسه اثر پره‌های دوگانه و تنها روی فرسایش در یک پایه استوانه‌ای، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شهرکرد.

Ahmed Mohamed, T., Noor, M.J., Ghazali, A.H and Huat, B.K. 2005. Validation of some bridge pier scour formulae using field data and laboratory data. American Journal of Environmental Science. 1.2: 119-125.

Alabi, P.D. 2006. Time development of local scour at bridge pier fitted with a collar. MSc. Thesis, University of Saskatchewan, Canada.

Chiew, Y.M and Mellville, B.W. 1987. Local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Research. 25.1: 15-26.

Ghorbani, B and Kells, J.A. 2008. Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier. Journal of Hydraulic Research. 46.5: 610-619.

Heidarpour, M. 2002. Control and reduction of local scour at bridge piers by using slot, International Conference on Fluvial Hydraulics. Louvain-la-Neuve, Belgium.

Jain, S.C and Fisher, E.E. 1980. Scour around bridge piers at high flow velocities. Journal of Hydraulic Division. 106.11: 1827-1842.

Lauchlan, C.S. 1999. Pier scour counter measures, Ph.D Thesis, University of Auckland, New Zealand.

Raudkivi, A.J. 2002. Loose Boundary Hydraulics, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

Tafarajnoruz, A., Gaudio, R and Calomino, F. 2012.

ولی آنچه که در این تحقیق مشخص است این است که وجود شکاف تاثیر قابل توجهی در کاهش عمق آبشستگی دارد. از مقایسه ستون چهارم و پنجم که هر دو مربوط به آزمایشات انجام شده در این تحقیق است تاثیر مثبت وجود شکاف در پایه پل ملاحظه می‌شود. از مقایسه این دو ستون در موقعیت S_3 می‌توان به این نکته پی برد که صفحات در این موقعیت توانستند علاوه بر تحت کنترل قراردادن گرداب نعل اسبی تا حدی از شدت جریان‌های رو به پایین بکاهند. یعنی تا حدی توانستند نقش طوق را ایفا نمایند. در تمامی حالت‌های فوق به غیر از سه مورد، نتایج حاصل از این آزمایشات حاکی از بازدهی بهتر نسبت به آزمایشات دبردانی در موقعیت‌های مشابه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر استفاده از صفحات دوگانه مستغرق در چهار موقعیت، چهار زاویه و سه طول بررسی شد. آزمایشات نشان داد در صورت استفاده از پایه شکاف‌دار عمق آبشستگی ۲۵٪ نسبت به پایه شاهد کاهش می‌یابد. اما وجود صفحات دوگانه مستغرق به همراه شکاف باعث کاهش میزان آبشستگی پایه به میزان بیش‌تری می‌شود. نتایج زیر بدست آمد:

- موقعیت‌های S_1 و S_3 نتایج بهتری را در کاهش حداکثر عمق آبشستگی نسبت به پایه شاهد نشان دادند.

- در موقعیت S_1 بهترین نتیجه بدست آمده در زاویه ۱۰ درجه و طول صفحات ۳ سانتی‌متر (یا $L/D=1$) بدست آمد که ۷۰ درصد بود.

- در موقعیت S_3 در تمامی حالت‌های طول صفحات و زاویه قرارگیری، حداقل میزان کاهش آبشستگی ۴۰ درصد بود.

- بیش‌ترین تاثیر موقعیت S_3 در کاهش عمق آبشستگی در طول صفحات ۲ سانتی‌متر (یا $L/D=0.66$) بدست آمد. در این طول و در زاویه‌های قرارگیری ۱۰ و ۳۰ درجه عمق آبشستگی نسبت به پایه شاهد ۸۶ درصدی کاهش داشت.

- کم‌ترین تاثیر صفحات مستغرق مربوط به موقعیت S_1 ، در زاویه ۹۰ درجه و طول صفحات ۳ سانتی‌متر بدست آمد. در این شرایط میزان کاهش آبشستگی نسبت به پایه شاهد ۲۳ درصد بود. با توجه به آنکه اثر شکاف بر میزان کاهش آبشستگی ۲۱٪ بدست آمد، موقعیت S_1 عملاً تاثیر زیادی ندارد.

- در نهایت این آزمایشات نشان داد استفاده از مدل صفحات مستغرق S_1 و S_3 ، سبب کاهش قابل توجه عمق آبشستگی شد.

منابع

پرجمی، ل.، اصغری‌پری، ا.، شفاعی بجزستان، م.، ۱۳۹۶. بررسی آزمایشگاهی تاثیر شکل صفحات مستغرق بر آبشستگی پایه پل،

Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. Journal of Hydraulic Research. 42.1: 97-103.

Evaluation of flow-altering countermeasures against bridge pier scour. Journal of Hydraulic Engineering 138: 297-305.

Zarrati,A.R., Gholami,H and Mashahir,M,B. 2004.

Evaluation of Effect of the Submerged Vanes and Slot on Reduction of Local Scour Around Bridge

M.Mazloom¹, S.R.Khodashenas^{2*}, K.Esmaili³
Recived: Oct.07, 2017 Accepted: Oct.30, 2017

Abstract

The past research has shown that many methods have been used to reduce the scouring around piers. But the use of submerged vanes and slots has not been considered. In this research assemble of double submerged vanes with various lengths and angles attack on pier scouring reduction were carried out.. The submerged vanes were placed in four different positions (S1 to S4) relative to the pier head. The pier diameter was $D=3$ cm and the vanes length to the pier diameter ratio were: $L/D= 0.33, 0.66$ and 1 . The angles of double vanes were $10, 20, 30, 90$ degrees corresponding to the flow direction. All tests were conducted on slot piers. The ration of width and height slots to pier diameter were 0.25 and 2 respectively. The results showed that using the slot pier can reduce the pier scouring about 21% , with submerged vanes with slot can be more effective for reduction of pier scouring. S1 and S3 positions showed best results in reducing the maximum scour depth compared to other positions. The maximum reduction of scouring was 86% in the third position (S_3) when the length of vanes were 2 cm , and angles of double vanes were $10, 30$, degrees corresponding to the flow direction.

Key words: Circular Piers, Local Scouring, Slots Piers, Submerged Vanes

1- M.Sc. , Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor , Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author : khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)