

بررسی اثر طوق بر شکل گودال آب‌شستگی پایه‌ی پل

محمد بلوچی^۱، محمدرضا چمنی^۲

کارشناس ارشد مهندسی عمران-آب^۱

دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان^۲

m.balouchi@kayson-ir.com

چکیده

در این مقاله ضمن مشاهده‌ی اثر طوق‌های قبلی بر آب‌شستگی (دایره‌ای با قطر ۲ و ۳ برابر قطر پایه)، فرم بستر پس از رسیدن به حالت متعادل آب‌شستگی در طوق‌های پیشنهادی بررسی شده است. مدل به‌صورت فیزیکی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان با مقیاس مناسب ساخته و آزمایش شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که طوق‌های استفاده شده به‌خوبی اثر جریان روبه‌پایین و به تبع آن گرداب‌های نعل‌اسبی را خنثی می‌کنند. البته این مقاومت تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که زیر طوق در اثر گرداب‌های برخاستگی خالی نشده باشد و به محض رسیدن گودال از بالادست به محدوده با توجه به ابعاد طوق گودال در محدوده آزمایش توسعه می‌یابد.

کلمات کلیدی: آب‌شستگی، پایه‌ی پل، طوق، شکل گودال، فرسایش

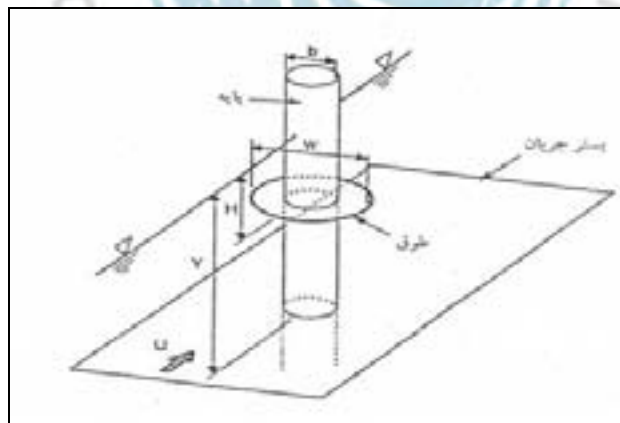


مقدمه

به طور کلی در محل پایه های پل دو عامل اساسی موجب تشکیل گرداب هایی در اطراف پایه می شود که این گرداب ها باعث آب شستگی موضعی^۱ می شوند. این دو عامل عبارتند از برخورد جریان به پایه ی پل و جدایی جریان^۲ آب از پایه ی پل. تمامی جریان هایی که در اطراف پایه تولید می شوند به نحوی (به طور مستقیم یا غیرمستقیم) با یکی از این دو عامل مرتبط هستند [۱]. برخورد آب به پایه موجب جریان روبه پایین^۳ و در نتیجه گرداب نعل اسبی^۴ می شود و جدایی جریان در پشت پایه موجب گرداب هایی می شود که به گرداب های برخاستگی^۵ معروف است [۱]. گرداب نعل اسبی زمانی آغاز می شود که در اثر جریان رو به پایین، حفره ی آب شستگی در جلوی پایه تشکیل شده باشد. به عبارت دیگر، اگر جلوی جریان رو به پایین گرفته شود، خود به خود گرداب نعل اسبی نیز کنترل می شود [۲].

روش های کاهش عمق آب شستگی موضعی به دو دسته تقسیم می شوند که عبارتند از: ۱- بالا بردن مقاومت مواد بستر در اطراف پایه ها با استفاده از مواد مقاوم تر که رایج ترین آن استفاده از سنگ چین در بستر رودخانه است. ۲- کاهش قدرت عوامل اصلی فرسایش از جمله جریان روبه پایین و گرداب نعل اسبی (کنترل گرداب برخاستی کمتر مورد توجه واقع شده است) که در این روش، ابزارهای مختلفی از جمله پای ستون، شکاف و طوق به کار گرفته می شود. منظور از طوق یک صفحه با ضخامت کم است که دور پایه را می پوشاند و روی بستر (یا بالاتر) قرار می گیرد و از تخریب بستر به علت جریان روبه پایین و گرداب نعل اسبی جلوگیری می کند [۲]. شکل (۱) چگونگی قرارگیری طوق بر روی پایه و موقعیت آن نسبت به بستر رودخانه را نشان می دهد.

شکل ۱: استفاده از طوق جهت مقابله با آب شستگی [۲]



طوق به صورت یک سپر محافظ برای بستر دور پایه در مقابل جریان روبه پایین و گرداب نعل اسبی عمل کرده و اثر فرسایشی این عوامل را تا حد زیادی خنثی می کند. حسن طوق آن است که پس از احداث رودخانه حتی زمانی که آب در رودخانه جریان دارد، قابل اجرا است. طریقه ی اجرا به این شکل است که دو نیم صفحه از طوق را در محل مربوطه از دو

¹ Local scour

² Flow separation

³ Down flow

⁴ Horse-Shoe vortex

⁵ Wake vortices



طرف مقابل قرار می دهند و سپس آن دو را به هم جوش می دهند. به علاوه، طوق در سیلاب های شدید آسیب نمی بیند، در صورتی که سنگ چین توانایی تحمل سیلاب بیشتر از سیلاب طرح را ندارد. از عوایب این روش آن است که طوق آب شستگی را به طور کامل برطرف نمی کند و همچنین نصب آن احتیاج به دقتی به مراتب بالاتر از سنگ چین دارد [۲].

توماس (۱۹۶۷)، تاناکا و یانو (۱۹۶۷)، نیل (۱۹۷۳) و اتما (۱۹۸۰) نشان دادند که با قرار دادن طوق یا پای ستون دور پایه می توان عمق آب شستگی را کاهش داد. طوق با مقاومت در برابر جریان رو به پایین از شسته شدن مصالح بستر جلوگیری می کند [۴]. به کارگیری طوق هنگامی مؤثر واقع می شود که سرعت جریان به حد کافی پایین باشد و انتقال رسوب یا انتقال فرم بستر در محدوده پایه نداشته باشیم. وقتی که انتقال رسوب عمومی رخ می دهد، با توجه به انتقال فرم بستر ممکن است زیر طوق خالی شود و طوق اثر خود را از دست می دهد [۴]. کومار و همکاران (۱۹۹۹) اثر توأم طوق و شکاف را بررسی کردند. علاوه بر آن، اثر محل قرارگیری و ابعاد طوق (۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۴ برابر قطر پایه) را بر حداکثر عمق آب شستگی بررسی کردند. آنها با استفاده از نتایج آزمایشگاهی رابطه ای کلی زیر را جهت محاسبه عمق آب شستگی در حالت استفاده از طوق با قطر مشخص و ارتفاع معلوم ارائه دادند [۵]:

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

که در آن dsp عمق آب شستگی در حالت عادی بدون طوق، dsc عمق آب شستگی با طوق، B قطر طوق، b قطر پایه، H عمق طوق نسبت به سطح آزاد آب و Y0 عمق آب است. کومار و همکاران پروفیل بستر را در حالت استفاده از طوق با قطر ۲/۵ برابر قطر پایه به دست آوردند. آنها به این نتیجه رسیدند که هرچه شکاف به بستر نزدیک تر باشد، مؤثرتر است. همچنین، زاویه ی جریان نسبت به امتداد شکاف تأثیر قابل توجهی در کاهش راندمان شکاف دارد [۵].

زرانی و همکاران (۲۰۰۶) بر روی کاهش عمق آب شستگی با استفاده از طوق های مجزا و یک پارچه در گروه پایه همراه با سنگ چین در شرایط آب زلال مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که در دو پایه ی در یک خط، ترکیب طوق ممتد و سنگ چین منجر به کاهش آب شستگی در حدود ۵۰ و ۶۰ درصد برای جلو و پشت پایه می شود [۶]. آنها نشان دادند که طوق های مستقل در هر پایه مؤثرتر از یک طوق یک پارچه برای دو پایه است. آنها همچنین نتیجه گرفتند که طوق بر روی یک پایه ی مستطیلی یک سره در جهت جریان مؤثرتر از حالت دو پایه در یک امتداد است [۶]. زرانی، و همکاران (۲۰۱۰) بر روی اندازه ی ذرات سنگ چین و نحوه ی پوشش دور پایه های استوانه ای با و بدون طوق در شرایط آب زلال آزمایش هایی را انجام دادند. بر طبق نتایج ناشی از این تحقیق که با ۷ اندازه مختلف دانه ها و دو مدل طوق انجام شد، اگر ضخامت سنگ چین در حدود 3d50 باشد، آب شستگی رخ نخواهد داد. استفاده از طوق با قطر ۲ برابر و ۳ برابر قطر پایه، حجم سنگ چین را به میزان ۳۱ و ۵۷ درصد کاهش می دهد [۷]. در این تحقیق، آزمایش هایی بر روی شکل های جدیدی از طوق انجام گرفت. جهت مقایسه و تعیین کفایت آنها، آزمایش هایی نیز بر روی شکل های طوق قبلی که دانشمندان بر روی آنها کار کرده اند، انجام شد.

معرفی مدل و آزمایش ها

آزمایش ها در کانال آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده ی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. طول کانال ۱۱ متر و مقطع آن مستطیلی به عرض ۰/۴۱ و ارتفاع ۰/۷ متر است. دیواره ی داخلی کانال از جنس فولاد و دیواره ی بیرونی از

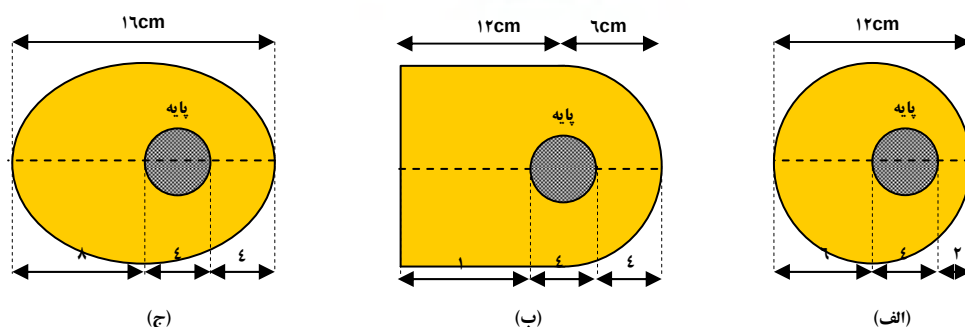


جنس شیشه‌ی سکوریت است. شیب کف کانال صفر و کف آن در محدوده‌ی ۵/۱ متری ابتدایی تا ۰/۲ متر بالا آورده شده است. در این محدوده، فاصله‌ی ۱/۱ متری که مقطع آزمایش است، با ماسه پر شده و بقیه‌ی آن توسط دو سکوی فلزی به طول ۳ در بالادست و ۱ متر در پایین‌دست بالا آورده شده است. آب در کانال توسط یک پمپ در یک مدار بسته جریان می‌یابد که میزان دبی به وسیله‌ی یک شیر فلکه در بالادست کانال قابل تنظیم است. جهت اندازه‌گیری دبی از سرریز مستطیلی لبه‌تیز در پایین‌دست کانال استفاده شده است. آب پیش از ورود به کانال وارد مخزنی به ابعاد ۱/۵*۲*۲ متر می‌شود و سپس توسط دو صفحه‌ی انحنادار به درون کانال هدایت می‌شود. این صفحات اثرات ناشی از انقباض خطوط جریان در هنگام ورود آب به کانال را کاهش می‌دهد. جهت کنترل سطح آب در پایین‌دست، دریچه‌ی آزاد قابل تنظیمی در انتهای کانال تعبیه شده است.

پایه از جنس پلاستیک تغلون و قطر آن ۴ سانتی‌متر انتخاب شد. علت آن است که طبق نظر چپو (۱۹۹۵)، قطر پایه باید حداکثر برابر با ده درصد فاصله دیواره‌های کانال باشد که دیواره‌ها اثری بر عمق آب‌شستگی نداشته باشند. برای برطرف کردن اثر قطر دانه‌ها بر نتایج، باید نسبت قطر پایه به میانگین ذرات بستر حداقل برابر با ۵۰ باشد [۳]. از آنجا که حداقل قطر میانگین مصالح بستر ۰/۷۲ میلی‌متر است (به سبب جلوگیری از تشکیل ریزل) بنابراین حداقل قطر پایه ۳۵ میلی‌متر است [۱]. مصالح بستر از نوع یکنواخت غیرچسبنده، چگالی نسبی ۲/۶۵ و انحراف معیار ۱/۲۶ انتخاب شدند.

به منظور سهولت در قرار دادن طوق در تراز بستر، پایه به دو قسمت تقسیم شده است که به صورت پیچ و مهره به هم محکم می‌شود. قسمت اول کاملاً در ماسه قرار داشت و قسمت دوم که روی طوق واقع می‌شود، کاملاً از ماسه‌ها بیرون بود. پس از مطالعات بر روی پدیده‌ی آب‌شستگی و مشاهده جریان و گرداب‌های مختلف، ۳ شکل جدید برای طرح طوق (طوق‌های شماره یک تا سه) پیشنهاد شد و همراه با دو شکل متعارف طوق (طوق با دو برابر قطر پایه و طوق با سه برابر قطر پایه) آزمایش شد. شکل (۲) ابعاد و نحوه‌ی قرار گرفتن انواع طوق نسبت به پایه و جریان آب را نشان می‌دهد.

شکل ۲: شکل، ابعاد و موقعیت قرارگیری: الف) طوق شماره یک (دایره غیر هم‌مرکز)، ب) طوق شماره دو (ترکیب نیم‌دایره و مربع)، ج) طوق شماره سه (بیضی)



به منظور تعیین حداکثر عمق آب‌شستگی در همه حالات، نسبت تنش برشی به تنش برشی بحرانی برابر با ۰/۹۵ (شرایط آب زلال) در نظر گرفته شد. معیار رسیدن به عمق تعادل آب‌شستگی در این تحقیق، معیار کومار و همکاران (۱۹۹۹) است. طبق این معیار، زمانی آب‌شستگی به حالت تعادل رسیده است که طی مدت ۳ ساعت، عمق آب‌شستگی کمتر از ۱ میلی‌متر تغییر کند [۵].

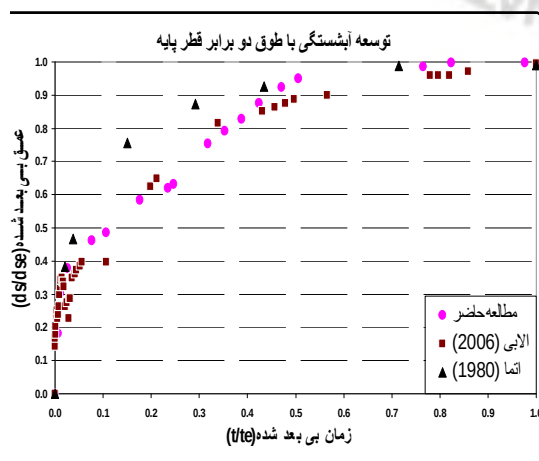


نتایج و بحث

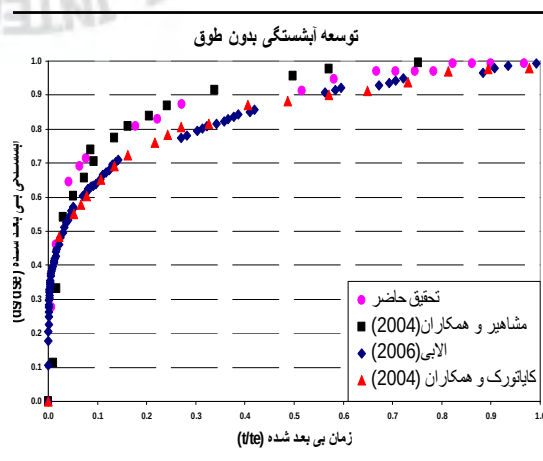
جهت صحت‌سنجی، نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها، با نتایج ارایه شده توسط مشاهیر و همکاران (۲۰۰۴)، الابی (۲۰۰۶) و ملویل و رادکیوی (۱۹۹۶) در شکل (۳) مقایسه شده است [۷، ۶، ۲]. شکل (۳) نشان می‌دهد که تغییرات زمانی عمق نسبی آب‌شستگی در حالت بدون طوق و با طوق دوبرابر قطر پایه، تطابق خوبی با نتایج دیگر محققین دارد. علت تفاوت نتایج در حالت طوق سه‌برابر آن است که نتایج ثبت شده در این آزمایش تنها در دو نقطه‌ی جلو (بالادست) و پشت پایه (پایین‌دست) و درست در لبه‌ی پایه است، ولی نتایج ارایه شده در آزمایش دیگر محققین، بیشینه‌ی عمق آب‌شستگی است. بنابراین، عمق آب‌شستگی تا لحظه‌ای که گودال به پایه برسد، صفر در نظر گرفته شده است. در واقع، عمق آب‌شستگی در این لحظه صفر نیست و در مکانی پایین‌دست پایه قرار دارد. توپوگرافی فرم بستر برای حالت‌های بدون طوق، با طوق دوبرابر و سه‌برابر قطر پایه به ترتیب در شکل‌های (۴-الف) تا (۴-ج) نشان داده شده است. به سبب تقارن گودال آب‌شستگی نسبت به محور کانال، توپوگرافی آب‌شستگی در یک سمت نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که گودال متناسب با ابعاد طوق در پلان گسترش یافته، ولی به همان نسبت عمق آن کمتر شده است.

وجود طوق موجب کاهش عمق آب‌شستگی شده ولی گسترش گودال متناسب با ابعاد طوق است. همان‌طوری که در اشکال (۴)، (۵) و (۶) مشخص است، ماکزیمم عمق آب‌شستگی در حالت بدون طوق حدوداً $2/4$ برابر قطر پایه، در حالت با طوق دوبرابر قطر پایه در حدود $2/05$ برابر قطر پایه و در حالت طوق سه‌برابر این مقدار برابر با $1/55$ برابر قطر پایه است. بنابراین عملکرد طوق در حالت سه‌برابر به مراتب مناسب‌تر از حالت دوبرابر است. علت آن است که طوق سه‌برابر اثر جریان رو به پایین را به کلی از بین می‌برد و تنها زمانی وارد عمل می‌شود که حفره‌ی آب‌شستگی از پشت پایه به جلوی پایه پیشروی کرده باشد در حالی که در حالت دوبرابر به سرعت وارد عمل می‌شود. پس از صحت‌سنجی مدل به بررسی نتایج حاصل از مدل‌های جدید طوق می‌پردازیم.

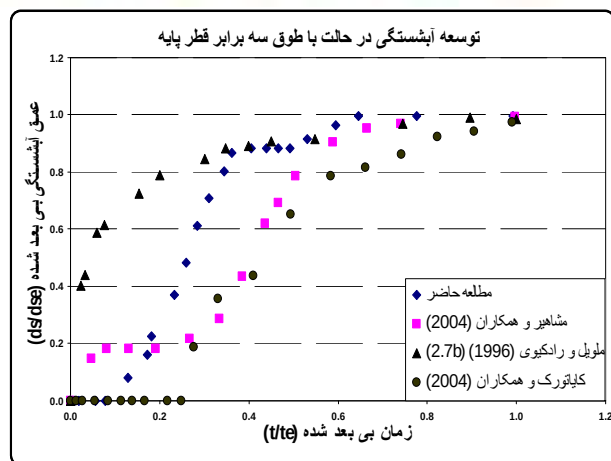
شکل ۳: مقایسه نتایج تحقیق حاضر با محققان دیگر؛ الف) بدون طوق، ب) با طوق دوبرابر قطر پایه، ج) با طوق سه برابر قطر پایه.



(ب)

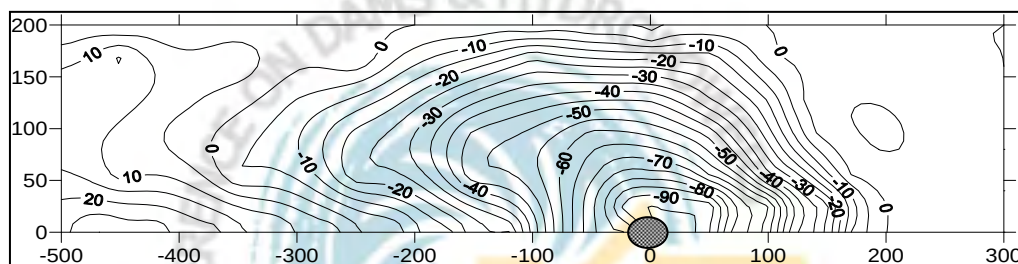


(الف)

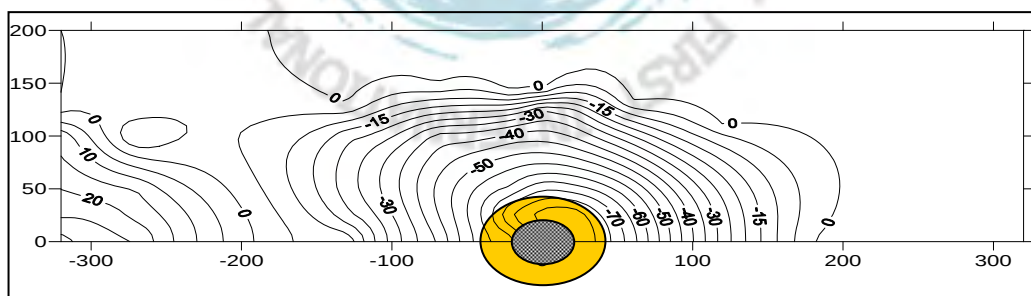


ج

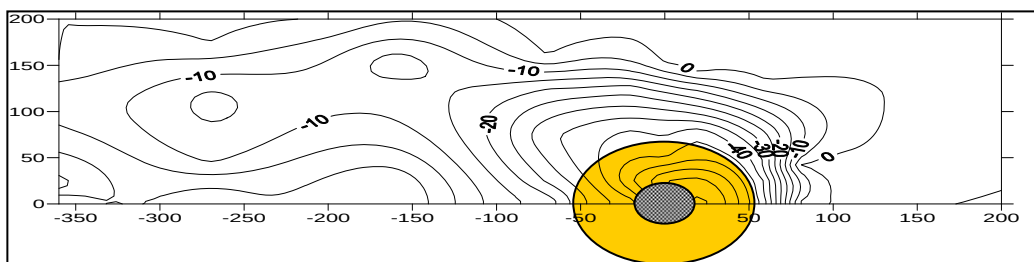
شکل ۴: توپوگرافی بستر پس از تعادل آب شستگی در حالت بدون طوق و شرایط $(u_* / u_{*c} = 0.95)$



شکل ۵: توپوگرافی بستر پس از تعادل آب شستگی در طوق دو برابر پایه و شرایط $(u_* / u_{*c} = 0.95)$



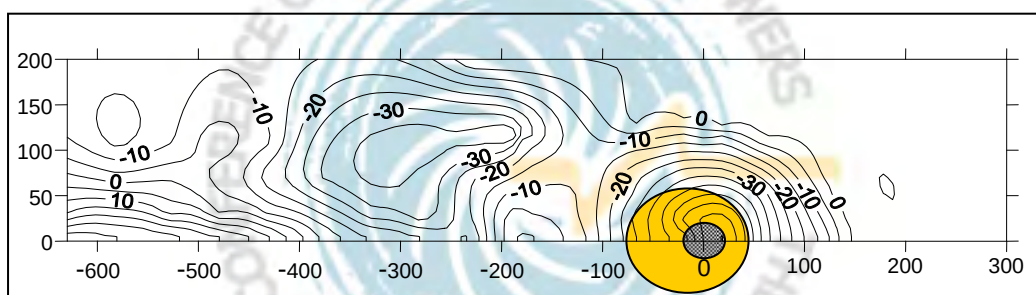
شکل ۶: توپوگرافی بستر پس از تعادل آب شستگی در طوق سه برابر پایه و شرایط $(u_* / u_{*c} = 0.95)$



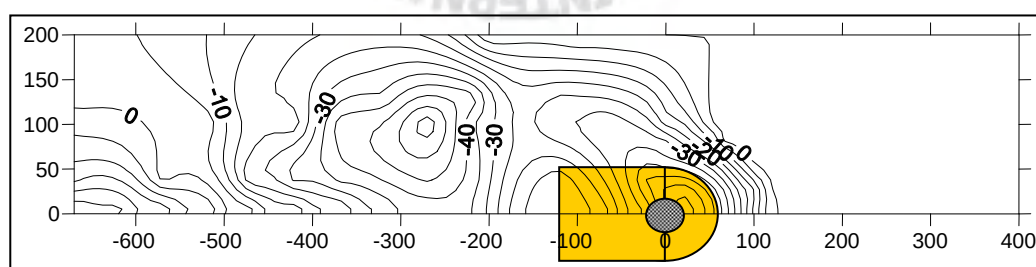


فرم بستر در حالت‌های طوق‌های جدید در شکل‌های (۷) تا (۹) نشان داده شده است. وسعت گودال آب‌شستگی در بالادست پایه در همه حالت‌ها تقریباً گستردگی مشابهی دارد، در صورتی‌که این گودال در پایین‌دست پایه در حالت‌های مختلف به شدت متفاوت است. بیشینه‌ی عمق آب‌شستگی در همه حالات در بالادست پایه و درست در لبه‌ی آن واقع شده است، به جز طوق شماره دو که بیشینه‌ی عمق آب‌شستگی در پایین‌دست پایه اندکی دورتر از طوق، در دو طرف آن و میان پایه و دیوارهای اطراف آن اتفاق افتاد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در هیچ حالتی گودال آب‌شستگی در بالادست پایه از ۲۰ سانتی‌متر (۵ برابر قطر پایه) بیشتر پیشروی نکرده است. گودال آب‌شستگی در پایین‌دست پایه تا انتهای بستر ماسه‌ای و بعضاً حتی بر روی سکوی پایین‌دست ادامه پیدا کرد. این نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که وجود یک پایه در بستر رودخانه می‌تواند مورفولوژی رودخانه پس از پایه را به‌کلی تغییر دهد. در تمامی حالات، طوق موجب کاهش عمق آب‌شستگی می‌شود، ولی محدوده آب‌شستگی را به‌خصوص در پایین‌دست پایه وسعت می‌بخشد. در کلیه حالات طوق جدید، دو حفره‌ی دیگر به‌جز گودال اطراف پایه در نقطه‌ای در پشت طوق ایجاد شد. در این میان طوق شماره دو عمیق‌ترین و طوق شماره سه کم‌عمق‌ترین گودال را تشکیل دادند.

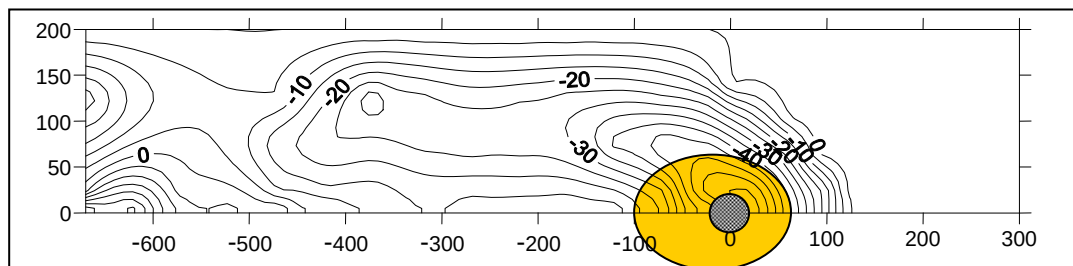
شکل ۷: توپوگرافی بستر پس از تعادل آب‌شستگی در طوق شماره یک و شرایط $(u_*/u_{*c} = 0.95)$



شکل ۸: توپوگرافی بستر پس از تعادل آب‌شستگی در طوق شماره دو و شرایط $(u_*/u_{*c} = 0.95)$



شکل ۹: توپوگرافی بستر پس از تعادل آب شستگی در طوق شماره سه و شرایط $(u_*/u_{*c} = 0.95)$



نتیجه گیری

در تحقیق حاضر از ۵ نوع طوق جهت کاهش عمق آب شستگی استفاده شد. نتایج به دست آمده از دو طوق دو و سه برابر قطر پایه با نتایج سایر محققین تطابق خوبی داشت. نتایج حاصله از طوق های دیگر بیان گر این مدعاست که افزایش و بهبود محدوده ی پوشش طوق نسبت به طوق با قطر سه برابر قطر پایه، اثر چندانی بر میزان عمق آب شستگی ندارد و فقط محدوده ی گودال را در بستر گسترش می دهد. در این حالت، هرچند در پشت پایه در ابتدا عمق آب شستگی به مراتب پایین تر بود، به محض رسیدن گودال به بالادست، جریان روبه پایین و گرداب نعل اسبی به طور مستقل عمل کرده و گودال را به سرعت گسترش دادند. به همین دلیل است که در همه حالت ها، حفره ی آب شستگی در بالادست پایه نسبتاً به یک شکل است.

مرجع ها

- [1] Breusers, H. N. C, Raudkivi. A. J., "Scouring", 2nd Hydraulic structures Design Manual, IAHR, A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands (1991).
- [2] Balouchi, M., "Scour Controlling around Bridge Piers by changing the shape of Collar", VDM Publishing Co., The Germany (2010).
- [3] Raudkivi, A. J., "Loose Boundary Hydraulics" A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands (1998).
- [4] Chew, Y. M., "Scour protection at bridge piers" J. Hydr. Eng., ASCE, 118(9), 1260-1269 (1992).
- [5] Kumar, V., Ranga Raju, K. G., Vittal, N., "Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars," J. Hydr. Eng., ASCE, 125(12), 1302-1305 (1999).
- [6] Zarrati, A. M., Nazariha, M. and Mashahir, M. B., "Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap" J. Hydr. Eng, ASCE, 132(2): 154-162 (2006).
- [7] Zarrati, A. M., Chamani, M. R., Shafaie, A., Latifi., "Scour countermeasures for cylindrical piers using riprap and combination of collar and riprap" International Journal of Sediment Research, Vol. 25, No. 3, 313-321 (2010).
- [8] Alabi., P. D., "Time development of local scour at bridge pier fitted with a collar" MS theses, University of Saskatchewan, Canada (2006).