

بررسی اندازه قطر سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه پل در قوس ۱۸° درجه رودخانه

مسعود ناصریان و علیرضا مسجدی^{۱*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵)

چکیده

قوس رودخانه به خاطر داشتن الگوی خاص جریان بنام جریان حلزونی دارای فرسایش شدیدتری نسبت به مسیر مستقیم دارد. وقوع آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل در مسیرهای قوسی، یکی از عمده‌ترین دلایل تخریب پل‌ها است. یکی از روش‌های کنترل آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل استفاده از سنگ چین می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی پایداری سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه پل در قوس ۱۸° درجه رودخانه است. در این مطالعه به منظور بررسی پایداری سنگ چین‌ها در اطراف تکیه‌گاه پل، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸° درجه و شعاع مرکزی ۲/۸ متر و عرض ۰/۶ متر با $RB=4/67$ از جنس پلاکسی گلاس انجام پذیرفت. در این تحقیق با قرار دادن یک تکیه‌گاه پل با دیواره عمودی بالدار از جنس پلاکسی گلاس به همراه سنگ چین در اطراف آن اقدام به یک سری آزمایش‌ها شد. آزمایش‌ها با استفاده از سه نوع سنگ چین با چگالی‌های ۱/۷، ۲/۱ و ۲/۴۲ و با قطرهای ۴/۷۶، ۹/۵۲، ۱۲/۷، ۱۹/۱ میلی‌متر در چهار دبی در حالت آب زلال انجام شد. در هر آزمایش عمق جریان در شرایط آستانه حرکت و آستانه شکست اندازه‌گیری و سپس با استفاده از داده‌های به دست آمده روابط مورد نظر محاسبه گردید. نتایج حاصل نشان داد با افزایش عدد فرود، قطر نسبی سنگدانه‌ها در دو حالت آستانه حرکت و شکست افزایش می‌یابد. در نهایت فرمول مناسب به منظور تخمین اندازه قطر سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه پل در حالت آستانه حرکت و آستانه شکست در قوس ۱۸° درجه ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: تکیه‌گاه پل، سنگ چین، قوس ۱۸° درجه، جریان ثانویه

۱. گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: drmasjedi.2007@yahoo.com

مقدمه

فرسایش در قوس رودخانه به دلیل وجود جریان‌های حلزونی، همواره مورد توجه مهندسين هیدرولیک بوده است. با ورود جریان به قوس نیروی گریز از مرکز بر آن اثر می‌کند که این نیرو در راستای شعاع قوس و نیز در جهت عمق به‌خاطر تغییرات سرعت، متغیر می‌باشد. نیروی گریز از مرکز موجود در خم باعث ایجاد شیب عرضی در سطح آب می‌شود که سطح آب را در قوس بیرونی بالا برده و در قوس داخلی باعث کاهش عمق می‌شود. این پدیده باعث ایجاد گرادیان فشار جانبی در داخل مقطع خواهد شد. هر گاه گرادیان فشار مزبور بر نیروی گریز از مرکز غلبه کند، جریانی در جهت عرضی، داخل مقطع شکل می‌گیرد که به جریان ثانویه موسوم است. در اثر این جریان، ذرات موجود در سطح آب به طرف دیواره بیرونی حرکت کرده و ذرات موجود در کف به طرف دیواره داخلی جابه‌جا می‌شوند.

تکیه‌گاه پل از جمله مهم‌ترین سازه رودخانه‌ای است که در راه‌سازی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از این پل‌ها درست زمانی که بیشترین نیاز به آنها وجود دارد، تخریب می‌گردند. یکی از مؤثرترین عوامل این تخریب‌ها آبشستگی موضعی اطراف تکیه‌گاه‌ها در قوس رودخانه می‌باشد. تخریب تکیه‌گاه‌ها به علت آبشستگی زبان‌های سنگین اقتصادی و جانبی به دنبال دارد. براساس مطالعات سازمان بزرگراه‌های ایالات متحده در سال ۱۹۷۳، از تعداد ۳۸۳ مورد خرابی در پل‌ها، ۲۵٪ مربوط به خرابی پایه‌ها و ۷۲٪ مربوط به خرابی تکیه‌گاه‌ها بوده است. همچنین بررسی‌های کانداسمی و ملویل در سال ۱۹۹۸، ۶ تا ۱۰ مورد تخریب پل در نیوزلند ناشی از آب شستگی در تکیه‌گاه آنها بوده است (۱).

اگر تکیه‌گاه‌ای به‌طور عمودی در مسیر جریان قرار گرفته باشد جریان آب در اطراف آن متلاطم شده و جریان‌های گردابی در اطراف آن ایجاد می‌شود. این جریان‌ها مکانیسم اصلی آبشستگی به حساب آمده که در دراز مدت باعث ایجاد

حفره در محل تکیه‌گاه پل شده و ممکن است موجب ریزش و خرابی تکیه‌گاه پل گردد.

یکی از روش‌های کاهش آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل‌ها استفاده از پوشش سنگ چین که به‌منظور تقویت بستر و بالا بردن مقاومت آن در برابر تنش برشی ناشی از جریان استفاده می‌شوند.

سایمون و لویس رابطه‌ای به‌منظور تعیین اندازه قطر سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه پل ارائه داده‌اند (۱۸):

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{0.67}{(G_s - 1)} Fr^2 \quad (1)$$

باگان و ارتیز به‌منظور تعیین اندازه قطر سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه پل معادله (۲) را برای تکیه‌گاه با دیواره عمودی ارائه نمودند (۱۳):

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{1.05}{(G_s - 1)^{0.81}} Fr^{1.62} \quad (2)$$

سازمان حمل و نقل و ترافیک راه نیوزلند و استرالیا (۶) به نقل از ملویل و کولمن (۹) به‌منظور طراحی قطر مناسب سنگ چین در محل تکیه‌گاه پل معادله (۳) را ارائه نمودند:

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{1.026}{(G_s - 1)} Fr^2 \quad (3)$$

ریچاردسون و دیویس براساس محدوده عدد فرود معادله (۴) را برای تعیین قطر مناسب سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه پل با دیواره عمودی ارائه نمودند (۱۶):

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{1.02}{(G_s - 1)} Fr^2 \quad Fr \leq 0.8 \quad (4)$$

زراتی و همکاران نیز عملکرد طوقه‌های مستقل و پیوسته همراه با سنگ چین را در گروه پایه‌های پل بررسی کردند. نتایج نشان داد که ترکیبی از یک طوقه پیوسته و سنگ چین منجر به کاهش عمق آبشستگی به میزان ۵۰ و ۶۰ درصد به‌ترتیب در جلو و پشت پایه می‌شود. همچنین عملکرد طوقه‌های مستقل بر روی هر پایه بهتر از عملکرد یک طوقه پیوسته بر روی دو پایه بود (۲۰).

سوئی و همکاران مطالعه آزمایشگاهی روی اثر تکیه‌گاه پل با اشکال نیمه بیضوی و نیمه دایره‌ای بر آبشستگی اطراف آن در

فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه از جنس پلاکسی گلاس انجام شد. در این تحقیق با قراردادن دو تکیه‌گاه پل با دیواره عمودی بالدار و قائم از جنس پلاکسی گلاس به‌همراه سنگ چین در اطراف آنها اقدام به انجام یک‌سری آزمایش گردید. نتایج حاصل نشان داد در شرایط یکسان، پایداری سنگ چین‌ها در تکیه‌گاه بالدار بیشتر از تکیه‌گاه قائم می‌باشد. همچنین بالدار بودن تکیه‌گاه با زاویه ۴۵ درجه به‌طور متوسط باعث افزایش ۹ درصد پایداری سنگ چین‌ها در مقایسه با تکیه‌گاه قائم می‌شود (۵).

تکیه‌گاه پل سازه‌هایی هستند که از طرف ساحل به داخل جریان اصلی امتداد یافته و موجب تنگ شدگی موضعی در داخل جریان می‌گردد. مکانیزم آبستتگی بدین صورت است که پس از برخورد جریان به تکیه‌گاه پل، با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود فشار بیشتری نیز در ترازهای بالاتر بر روی بالا دست تکیه‌گاه پل ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادبان فشاری روی تکیه‌گاه از بالا به پایین به‌وجود می‌آید که خود باعث ایجاد یک جریان رو به پایین می‌شود. جریان رو به پایین همانند یک جت عمودی عمل کرده و پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر ذرات رسوبی به اطراف پراکنده می‌شود (۱۵۱۳). بخشی از جریان رو به پایین که به سمت بالا بازگشت می‌کند، در برخورد به جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدداً به پایه برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت آن در داخل حفره کنده شده، گردابی تشکیل می‌دهد که به شکل شبیه نعل اسب می‌باشند که به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آبستتگی، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند (۷).

در پائین دست تکیه‌گاه، در اثر جدایی جریان گرداب‌هایی تشکیل می‌شوند که محور آنها عمود بر بستر رودخانه می‌باشد و به آنها گرداب برخاستگی می‌گویند. این گرداب‌ها همانند گردباد ذرات بستر را جدا کرده و در معرض جریان قرار

شرایط آب زلال و مصالح مختلف انجام دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد برای هر دو تکیه‌گاه با افزایش سرعت جریان در کلیه شرایط عمق آبستتگی افزایش یافت. همچنین در کلیه آزمایش‌ها عمق آبستتگی در اطراف تکیه‌گاه نیمه دایره‌ای بیشتر از تکیه‌گاه نیمه بیضوی مشاهده شد (۱۹).

سیمارو و همکاران تحقیقاتی در مورد تعیین اندازه سنگ چین به‌منظور حفاظت از پایه‌های پل در مقابل فرسایش انجام دادند. در این تحقیق اثر هیدرولیک جریان و همچنین فاصله بین پایه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در یک فلوم آزمایشگاهی مستطیلی با چهار اندازه سنگ چین با شیب ۷ درصد انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد فاصله بین پایه‌های پل تأثیر کمی بر روی اندازه سنگ چین دارد (۱۷).

قربانی و همکاران به‌منظور کنترل و کاهش آبستتگی موضعی با استفاده از چهار اندازه سنگ چین و دو اندازه شکاف پایه نشان داد وجود شکاف باعث مقاوم‌تر شدن و افزایش پایداری پایداری سنگ چین می‌گردد (۲).

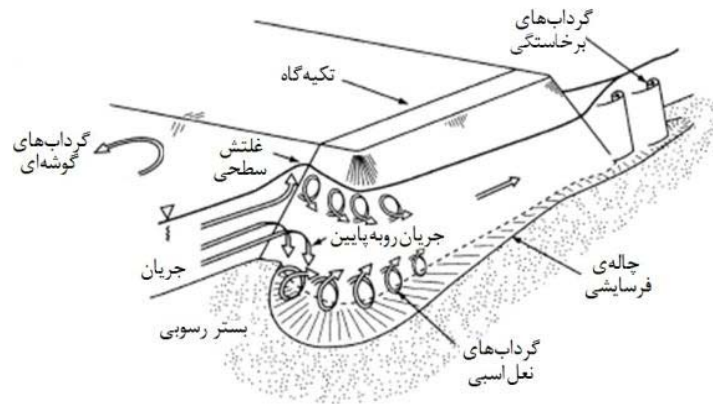
کیخانی و همکاران در خصوص الگوی سنگ چین در محل احداث گروه پایه‌های پل‌ها تحقیقی انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد مساحت محدوده پوشش سنگ چین در گروه پایه‌ها برای هر پایه نسبت به تک پایه کاهش یافته است (۳).

منصوری و همکاران به‌منظور طراحی قطر سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه پل با دیواره عمودی در قوس ۹۰ درجه رودخانه تحقیقی انجام دادند. در این تحقیق آزمایش‌ها در چگالی، دبی و قطرهای مختلفی انجام شد. براساس محدوده عدد فرود معادله (۵) را برای تعیین قطر مناسب سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه پل با دیواره عمودی در آستانه حرکت و معادله (۶) را برای آستانه شکست ارائه نمودند (۴):

$$\frac{D_{50}}{y_t} = \frac{1/63}{(G_s - 1)^{1/12}} Fr^{2/54} \quad (5)$$

$$\frac{D_{50}}{y_t} = \frac{0/59}{(G_s - 1)^{1/17}} Fr^{2/13} \quad (6)$$

مسجدی و همکاران به‌منظور مقایسه پایداری سنگ چین‌ها در اطراف دو تکیه‌گاه پل با دو شکل متفاوت، آزمایش‌هایی در یک



شکل ۱. الگوی جریان و حفره آبشستگی موضعی اطراف یک تکیه‌گاه پل

$$f_2 \left(\frac{gy_t}{V^2}, \frac{d_{50}}{y_t}, \frac{\rho_s}{\rho_w} \right) \quad (9)$$

و یا:

$$f_2 \left(Fr, \frac{d_{50}}{y_t}, G_s \right) \quad (10)$$

در معادله (۱۰)، Fr عدد فرود و G_s چگالی سنگ چین می‌باشد. در کلیه آزمایش‌ها با توجه به آشفتگی جریان در اطراف تکیه‌گاه، جریان از نوع متلاطم بوده و عدد رینولدز حذف گردید.

اصولاً پل‌ها در بازه‌ای از رودخانه احداث می‌شوند که رودخانه پایدارتر باشد. در این مسیر، ممکن است به‌علت محدودیت‌های احداث راه و یا عدم پایداری رودخانه در بازه‌های مستقیم، اقدام به احداث پل و تکیه‌گاه پل در قوس رودخانه شود. لذا به‌منظور تقویت بستر و بالابردن مقاومت آن در مقابل آبشستگی، تحقیقی در خصوص طراحی اندازه قطر سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه پل با دیواره عمودی بالدار در موقعیت 70° درجه در قوس 180° درجه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی پایداری سنگ چین اطراف تکیه‌گاه پل در قوس رودخانه، یک مدل فیزیکی واقع در آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز تهیه شد. آزمایش‌ها در یک فلوم از

می‌دهند و به انتقال ذرات در اطراف تکیه‌گاه پایه به سمت پایین دست کمک می‌کنند. حفر گودال آبشستگی توسط گردهای نعل اسبی آنقدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبشستگی زیاد شده و انرژی گردها را مستهلک کند. در این حالت عمق آبشستگی به حالت تعادل می‌رسد (۱۵). شکل (۱) نمونه‌ای از جریان آشفته و گردهایی را که باعث آبشستگی موضعی و حفره می‌گردند را نشان می‌دهد.

آنالیز ابعادی

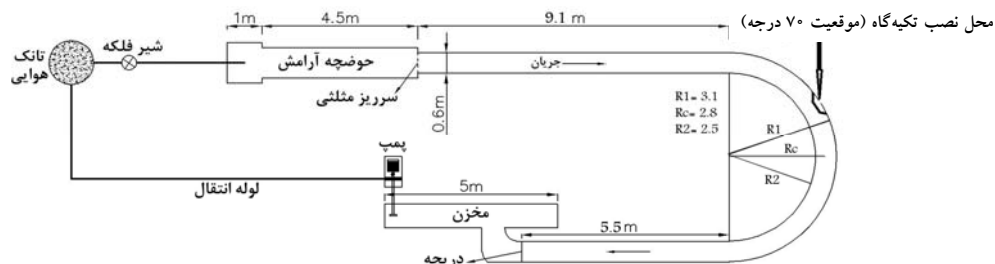
با در نظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال رابطه ذیل بین پارامترهای مؤثر بر پایداری سنگ چین در حالت تعادل برقرار است:

$$f_1(R, B, \theta, V, y_t, g, \rho_w, S_b, d_{50}, \rho_s) = 0 \quad (7)$$

در معادله (۷) R شعاع مرکزی قوس، B عرض مجرا، θ زاویه موقعیت قرارگیری تکیه‌گاه در قوس، V سرعت جریان، y_t عمق جریان آب در پایین دست، g شتاب ثقل، ρ_w جرم مخصوص آب، S_b شیب طولی کف مجرا، d_{50} قطر متوسط سنگ چین و ρ_s جرم مخصوص ذرات سنگ چین می‌باشد. با صرف نظر کردن از پارامترهای ثابت در معادله (۷)، معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$f_1(V, y_t, g, \rho_w, d_{50}, \rho_s) = 0 \quad (8)$$

با استفاده از تئوری باکینگهام معادله (۸) به‌صورت زیر بدون بعد می‌شود:



شکل ۲. پلان کانال قوسی شکل

جدول ۱. مشخصات سنگ چین در اطراف تکیه گاه

اندازه متوسط سنگ چین (mm)	چگالی سنگ چین
۱۹/۱، ۱۲/۷، ۹/۵۲، ۴/۷۶	۱/۷
۱۹/۱، ۱۲/۷، ۹/۵۲	۲/۱
۱۲/۷	۲/۴۲

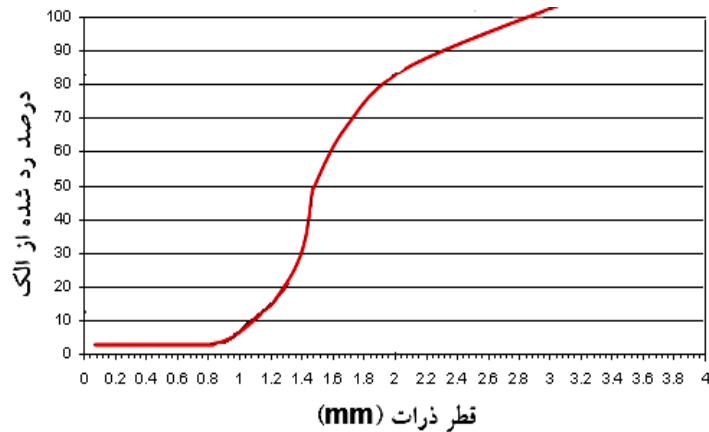


شکل ۳. نمایی از سنگ چین های به کار رفته در تحقیق

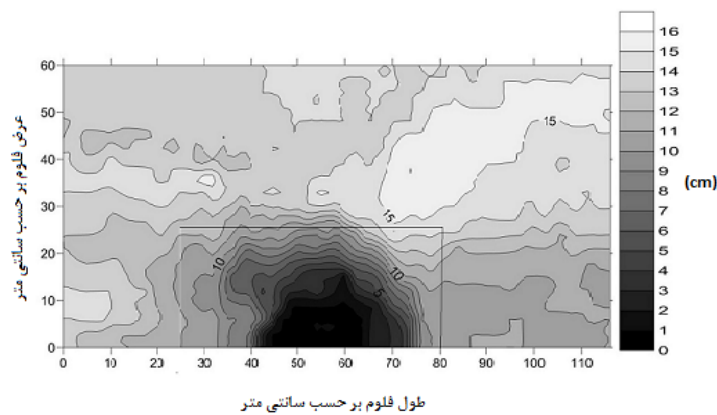
نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد (۸). لذا تکیه گاه با دیواره عمودی بالدار با زاویه ۴۵ درجه با طول ۱۲ سانتی متر و ارتفاع ۴۰ سانتی متر از جنس پلکسی گلاس استفاده شد. سنگ چین های به کار رفته در این تحقیق از مصالح طبیعی گرد گوشه با سه نوع چگالی ۱/۷، ۲/۱ و ۲/۴۲ با اندازه قطر متوسط ۴/۷۶، ۹/۵۲، ۱۲/۷، ۱۹/۱ میلی متر استفاده شد (جدول ۱) و (شکل ۳). به توصیه راودکیوی و اتما برای جلوگیری از تشکیل ریبیل قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی متر بزرگ تر باشد. همچنین برای حذف تأثیر غیریکنواختی رسوبات بر آبشستگی، انحراف

جنس پلاکسی گلاس قوسی شکل با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه، شعاع مرکزی $R = 2/8m$ و عرض $B = 0/6m$ انجام شد. انحنای نسبی قوس $R/B = 4/7$ بوده که قوس را در رده قوس های ملایم قرار می دهد. کانال مستقیم ورودی به طول ۹/۱ متر به یک کانال با قوس ۱۸۰ درجه متصل می گردد. این کانال قوسی شکل توسط کانال مستقیم دیگری به طول ۵/۵ متر به دریچه کنترل عمق جریان و سپس مخزن خروجی متصل می شود (شکل ۲).

طبق توصیه های چپو و ملویل تنگ شدگی در عرض کانال



شکل ۴. منحنی دانه‌بندی رسوبات بستر در آزمایش



شکل ۵. توپوگرافی آبستنگی در اطراف تکیه‌گاه و تعیین مساحت سنگ چین

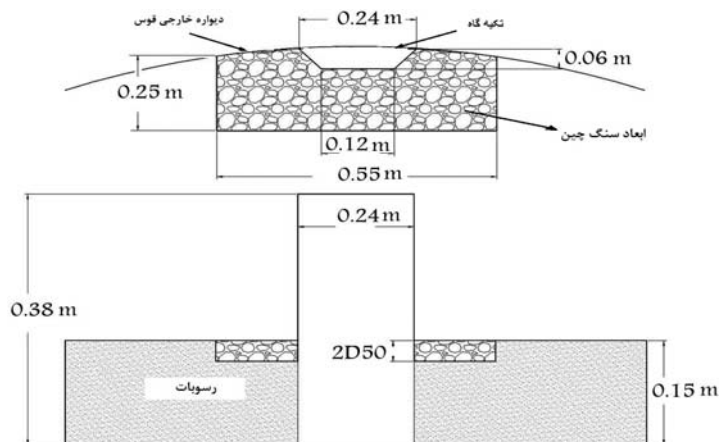
ساعت بر روی تکیه‌گاه پل بدون سنگ چین در یک لایه از ماسه به ضخامت تقریبی ۱۵ سانتی‌متر با دبی حداکثر ۳۰ لیتر بر ثانیه در موقعیت ۷۰ درجه در قوس در عمق جریان ۱۰ سانتی‌متر انجام گردید. در انتهای آزمایش، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شد تا تأثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. پس از تخلیه کامل آب از درون کانال، به وسیله عمق سنج با دقت میلی‌متر، توپوگرافی بستر توسط دستگاه عمق سنج با دقت بالا در اطراف تکیه‌گاه برداشت شد. پس از انجام آزمایش محدوده سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه برای انجام آزمایش‌ها به طول ۵۵ و عرض ۲۵ سانتی‌متر به دست آمد (شکل ۵).

براساس مطالعات ملویل و همکاران شکل چیدمان سنگ

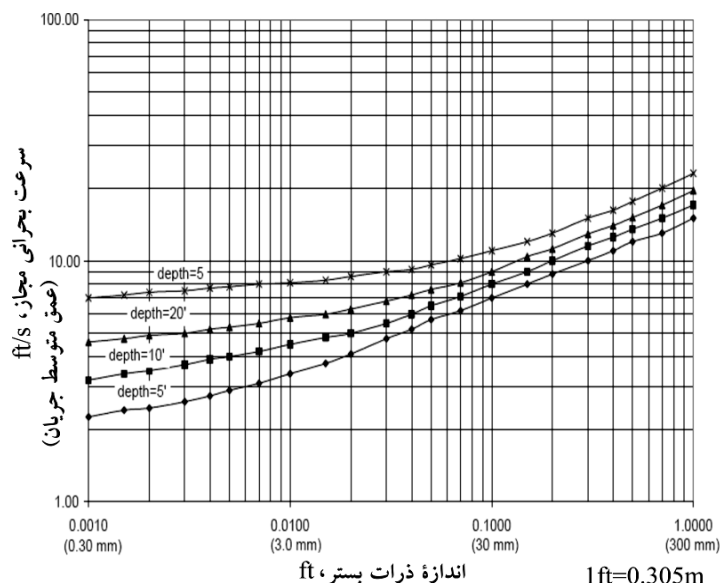
معیار ذرات باید کمتر از $1/3$ باشد (۱۴). با توجه به این موارد یک لایه از ماسه طبیعی رودخانه‌ای با قطر متوسط معادل $1/59$ میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل $1/29$ انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۱۵ سانتی‌متر جهت انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴).

طبق توصیه البوتو و هاگر برای جلوگیری از اثرات زبری عمق آب را بیشتر از ۲۰ میلی‌متر پیشنهاد نموده‌اند که در کلیه آزمایش‌ها عمق آب بالاتر از ۲۰ میلی‌متر انتخاب گردید (۱۲).

برای تعیین مساحت سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه، آزمایش زمان تعادل بدون قرارگیری سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه به منظور بررسی حداکثر ابعاد گودال آبستنگی اطراف تکیه‌گاه انجام شد. در این آزمایش طی یک آزمایش طولانی به مدت ۱۴



شکل ۶. مشخصات تکیه گاه و سنگ چین در اطراف آن



شکل ۷. منحنی های محاسبه سرعت بحرانی به توصیه نیل، (۱۹۷۳)

به منظور آغاز حرکت مصالح بستر می باشند. این منحنی ها براساس عمق جریان، سرعت جریان و اندازه مصالح بستر ترسیم شده اند. در حقیقت منحنی های نیل (۱۹۷۳) با به کار بردن مقادیر مختلف عدد شیلدز، از نمودار شیلدز به دست آمده اند. در کلیه آزمایش ها نسبت سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی ۰/۹۳ بود (۱۱). لذا کلیه آزمایش ها در چهار ۲۰، ۱۷، ۲۳، ۲۷ لیتر بر ثانیه انجام شد. دبی مورد نیاز توسط سرریز مثلی ۶۰ درجه در ابتدای ورودی فلوم اندازه گیری شد. در ابتدای هر آزمایش با استفاده از ارابه متحرک، بستر کانال

چین در اطراف تکیه گاه به صورت مستطیلی و هم تراز مصالح بستر در نظر گرفته شد (۱۰). همچنین با توجه به معیار ارائه شده توسط ملویل و همکاران، ضخامت لایه سنگ چین دو برابر قطر متوسط سنگ چین انتخاب شد (۱۰) (شکل ۶).

با توجه به اینکه آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال انجام شد، لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالا دست تکیه گاه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی ($u < u_c$) باشد. منحنی هایی که در شکل (۷) نشان داده شده اند مشخص کننده سرعت بحرانی جریان



شکل ۹. آستانه شکست سنگ چین



شکل ۸. تکیه‌گاه و سنگ چین اطراف آن قبل از آزمایش

آزمایش، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته گردید تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شد تا تأثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد نگردد. شکل (۹) آستانه شکست سنگ چین در انتهای آزمایش نشان داده شده است.

بحث و نتایج

در کلیه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی، عمق جریان در حالت آستانه حرکت و آستانه شکست اندازه‌گیری شد. مطابق جدول (۲) به‌ازای دبی‌های آزمایشی و عمق جریان اندازه‌گیری شده در حالت آستانه حرکت و شکست و همچنین در قطر و چگالی‌های مورد استفاده برای ذرات سنگ چین، مقادیر سرعت متوسط جریان و عدد فرود در دو حالت آستانه حرکت و شکست محاسبه شد.

در جدول (۲) پارامتر y_{tc} عمق جریان در حالت آستانه، y_{cf} عمق جریان در آستانه شکست، V_c سرعت جریان در آستانه حرکت، V_f سرعت جریان در آستانه شکست، Fr_c عدد فرود در آستانه حرکت و Fr_f عدد فرود در آستانه شکست می‌باشند.

نتایج حاصل از جدول (۲) نشان می‌دهد در هر چگالی به‌ازای یک دبی ثابت، با افزایش اندازه قطر سنگ چین، عمق ناپایداری در آستانه حرکت و شکست کاهش می‌یابد و با افزایش دبی، عمق ناپایداری در آستانه حرکت و شکست سنگ

تحت شیب ثابت مسطح گردید. سپس سنگ چین مورد نظر با ضخامت $2d_{50}$ و هم تراز با مصالح بستر در اطراف تکیه‌گاه قرار داده شد (شکل ۸). پیش از راه اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت گردید تا از ایجاد ریبیل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. مدت زمان اشباع کانال بین 20 تا 30 دقیقه بود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه اندازی شد و به آرامی توسط شیر فلکه اصلی روی لوله ورودی به حوضچه آرامش، دبی به میزان مورد نظر رسانده شد. پس از تنظیم دبی مورد نظر، عمق جریان توسط دریچه در پائین دست به آهستگی کاهش داده شد تا شرایط جریان برای جابه‌جایی کم ذرات سنگ چین به‌وجود آید. پس از اطمینان از ثابت بودن عمق جریان در طول فلووم نحوه حرکت ذرات سنگ چین به‌صورت چشمی بررسی گردید. شرایط جریان در حالتی که ذرات سنگ چین از محل خود کنده و به پائین دست منتقل شود آستانه حرکت گفته و در این شرایط عمق جریان در پائین دست قوس به‌عنوان عمق آستانه اندازه‌گیری شد. سپس دریچه پائین دست را به آرامی باز کرده تا عمق جریان کاهش یابد. در این شرایط ذرات سنگ چین به‌صورت گروهی شرع به حرکت کردند. این شرایط را آستانه شکست گفته و در این لحظه عمق جریان در پائین دست نیز به‌عنوان عمق آستانه شکست اندازه‌گیری شد. در انتهای هر

جدول ۲. نتایج حاصل از آزمایش آستانه حرکت و آستانه شکست سنگ چین

Gs	Q(m ^۳ /s)	D۵۰(mm)	y _{tc} (m)	V _c (m/s)	Fr _c	y _{tf} (m)	V _f (m/s)	Fr _f
۱/۷	۰/۰۱۷	۴/۷۶	۰/۱۱۶۵	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۰۹۷	۰/۲۹	۰/۳
۱/۷	۰/۰۱۷	۹/۵۲	۰/۰۹۴	۰/۳	۰/۳۱	۰/۰۸۱	۰/۳۵	۰/۳۹
۱/۷	۰/۰۱۷	۱۲/۷	۰/۰۸۵	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۰۷۳	۰/۳۹	۰/۴۶
۱/۷	۰/۰۱۷	۱۹/۱	۰/۰۷۲	۰/۳۹	۰/۴۷	۰/۰۶۸	۰/۴۲	۰/۵۱
۱/۷	۰/۰۲	۴/۷۶	۰/۱۲۱	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۱۱۱	۰/۳	۰/۲۹
۱/۷	۰/۰۲	۹/۵۲	۰/۰۹۸	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۰۸۹	۰/۳۷	۰/۴
۱/۷	۰/۰۲	۱۲/۷	۰/۰۸۸	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۰۷۹	۰/۴۲	۰/۴۸
۱/۷	۰/۰۲	۱۹/۱	۰/۰۷۶	۰/۴۴	۰/۵۱	۰/۰۷۲	۰/۴۶	۰/۵۵
۱/۷	۰/۰۲۳	۴/۷۶	۰/۱۲۸	۰/۳	۰/۲۷	۰/۱۱۷	۰/۳۳	۰/۳۱
۱/۷	۰/۰۲۳	۹/۵۲	۰/۱۰۵	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۰۹۵	۰/۴	۰/۴۲
۱/۷	۰/۰۲۳	۱۲/۷	۰/۰۹۴۵	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۰۸۴۳	۰/۴۵	۰/۵
۱/۷	۰/۰۲۳	۱۹/۱	۰/۰۸۲	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۰۷۷	۰/۵	۰/۵۷
۱/۷	۰/۰۲۷	۴/۷۶	۰/۱۳۵	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۱۲۴	۰/۳۶	۰/۳۳
۱/۷	۰/۰۲۷	۹/۵۲	۰/۱۱۲	۰/۴	۰/۳۸	۰/۱۰۱	۰/۴۵	۰/۴۵
۱/۷	۰/۰۲۷	۱۲/۷	۰/۱۰۴	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۰۹۲	۰/۴۹	۰/۵۲
۱/۷	۰/۰۲۷	۱۹/۱	۰/۰۹	۰/۵	۰/۵۳	۰/۰۸۶	۰/۵۲	۰/۵۷
۲/۱	۰/۰۱۷	۹/۵۲	۰/۰۹۲	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۰۷۹	۰/۳۶	۰/۴۱
۲/۱	۰/۰۱۷	۱۲/۷	۰/۰۸۱	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۰۷	۰/۴	۰/۴۹
۲/۱	۰/۰۱۷	۱۹/۱	۰/۰۷	۰/۴	۰/۴۹	۰/۰۶۵	۰/۴۴	۰/۵۵
۲/۱	۰/۰۲	۹/۵۲	۰/۰۹۴	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۰۸۵	۰/۳۹	۰/۴۳
۲/۱	۰/۰۲	۱۲/۷	۰/۰۸۲	۰/۴۱	۰/۴۵	۰/۰۷۸	۰/۴۳	۰/۴۹
۲/۱	۰/۰۲	۱۹/۱	۰/۰۷۲	۰/۴۶	۰/۵۵	۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۵۷
۲/۱	۰/۰۲۳	۹/۵۲	۰/۱۰۱	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۰۹۱	۰/۴۲	۰/۴۵
۲/۱	۰/۰۲۳	۱۲/۷	۰/۰۹	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۰۸۲	۰/۴۸	۰/۵۲
۲/۱	۰/۰۲۳	۱۹/۱	۰/۰۷۷	۰/۵	۰/۵۷	۰/۰۷۵	۰/۵۱	۰/۶
۲/۱	۰/۰۲۷	۹/۵۲	۰/۱۰۹	۰/۴۱	۰/۴	۰/۰۹۹	۰/۴۵	۰/۴۶
۲/۱	۰/۰۲۷	۱۲/۷	۰/۰۹۸	۰/۴۶	۰/۴۷	۰/۰۸۹	۰/۵۱	۰/۵۴
۲/۱	۰/۰۲۷	۱۹/۱	۰/۰۸۴	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۰۸	۰/۵۶	۰/۶۴
۲/۴۲	۰/۰۱۷	۱۲/۷	۰/۰۷۱	۰/۴	۰/۴۸	۰/۰۶۶	۰/۴۳	۰/۵۳
۲/۴۲	۰/۰۲	۱۲/۷	۰/۰۷۷۵	۰/۴۳	۰/۴۹	۰/۰۶۹	۰/۴۸	۰/۵۹
۲/۴۲	۰/۰۲۳	۱۲/۷	۰/۰۸۲۵	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۰۷۴	۰/۵۲	۰/۶۱
۲/۴۲	۰/۰۲۷	۱۲/۷	۰/۰۸۹	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۰۸۱۵	۰/۵۵	۰/۶۲

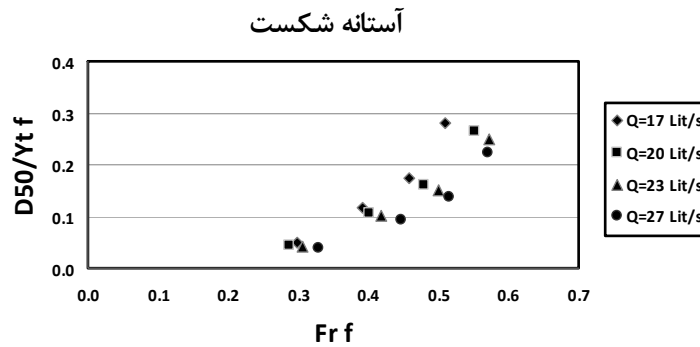
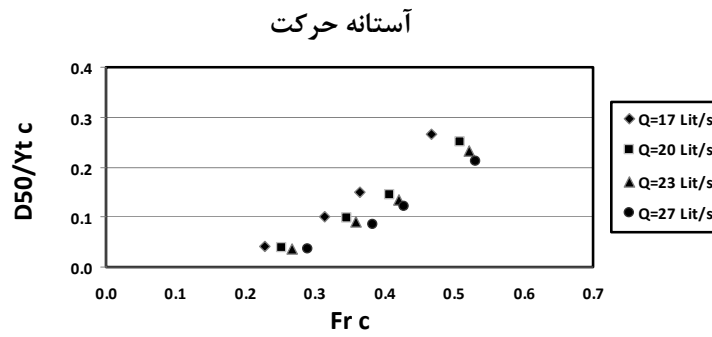
چین افزایش می‌یابد. همچنین هرچه چگالی سنگ چین بیشتر شود، آستانه حرکت و شکست سنگ چین در اعماق پائین‌تری رخ می‌دهد.

چین افزایش می‌دهد. نتایج نمودارها نشان می‌دهد، عملکرد قطر نسبی سنگدانه‌ها در دو حالت آستانه حرکت و شکست به عدد فرود جریان بستگی دارد و در شرایط زیر بحرانی در کلیه دبی‌ها، با افزایش عدد فرود، قطر نسبی سنگدانه‌ها در دو حالت آستانه

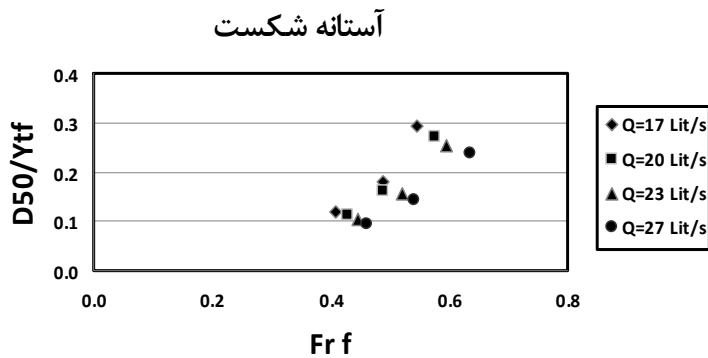
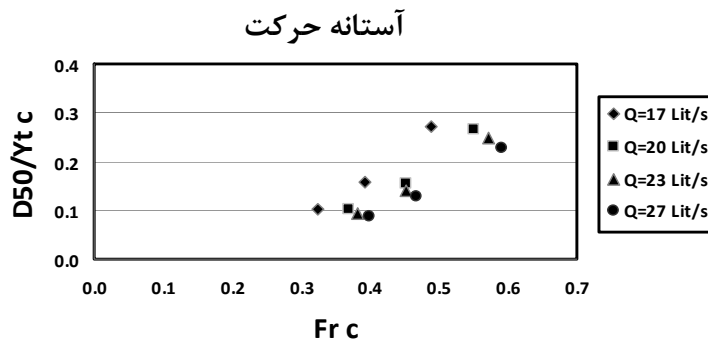
چین افزایش می‌یابد. همچنین هرچه چگالی سنگ چین بیشتر شود، آستانه حرکت و شکست سنگ چین در اعماق پائین‌تری رخ می‌دهد.

بررسی تأثیر عدد فرود بر قطر نسبی سنگدانه

شکل (۱۰) و (۱۱) تأثیر عدد فرود در قطر نسبی سنگدانه



شکل ۱۰. تأثیر عدد فرود بر قطر نسبی سنگدانه‌ها در حالت آستانه حرکت و شکست در چگالی ۱/۷



شکل ۱۱. تأثیر عدد فرود بر قطر نسبی سنگدانه‌ها در حالت آستانه حرکت و شکست در چگالی ۲/۱

جدول ۳. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج محققین

تحقیق ارائه شده	RMSE (آستانه حرکت)	RMSE (آستانه شکست)
تحقیق حاضر	۰/۰۳۴	۰/۰۳۹
منصوری- شفاعی بجنستان (۱۳۹۰)	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲
سازمان حمل و نقل و ترافیک نیوزلند و استرالیا (۱۹۹۴)	۰/۰۱۷	۰/۱۴۱
سایمون و لویس (۱۹۷۱)	۰/۰۳۳	۰/۰۴۴
پاگان- ارتیز (۱۹۹۱) (تکیه گاه با دیواره نوک دایره ای)	۰/۰۴۶	۰/۰۱۳
پاگان- ارتیز (۱۹۹۱) (تکیه گاه با دیواره عمودی)	۰/۰۷۰	۰/۰۲۱

نتیجه گیری نهایی

در این تحقیق آزمایش‌ها جهت تعیین اندازه قطر سنگ چین در اطراف تکیه‌گاه پل با دیواره عمودی بالدار ۴۵ درجه در قوس ۱۸۰ درجه با ۴ دبی و ۳ چگالی متفاوت انجام گرفت. متغیرهای مؤثر در این تحقیق دبی، چگالی و قطر سنگدانه‌ها بود. نتایج این تحقیق به صورت زیر بیان می‌شود:

۱- در هر چگالی به‌ازای یک دبی ثابت، با افزایش اندازه قطر سنگ چین، عمق ناپایداری در آستانه حرکت و شکست کاهش می‌یابد و با افزایش دبی، عمق ناپایداری در آستانه حرکت و شکست سنگ چین افزایش می‌یابد.

۲- در هر چگالی با دبی ثابت، با افزایش عدد فرود در دو شرایط آستانه حرکت و آستانه شکست، عدد پایداری کاهش می‌یابد.

۳- به‌ازای دبی ثابت، با افزایش قطر نسبی سنگدانه‌ها، عدد پایداری در دو حالت آستانه حرکت و شکست کاهش می‌یابد.

۴- در کلیه دبی‌ها، با افزایش عدد فرود، قطر نسبی سنگدانه‌ها در دو حالت آستانه حرکت و شکست افزایش می‌یابد.

۵- مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعات محققین دیگر نشان داد نتایج به‌دست آمده توسط سایمون و لویس مطابقت خوبی داشته و به‌منظور استفاده از این روابط در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه، ضرایب تصحیح مناسب ارائه گردید (۱۸).

حرکت و شکست افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر در دبی ثابت، افزایش عدد فرود باعث افزایش سرعت برشی جریان و ناپایداری سنگ چین‌ها می‌شود.

به‌منظور تخمین اندازه قطر سنگدانه‌ها در اطراف تکیه‌گاه پل در قوس ۱۸۰ درجه، با استفاده از نرم‌افزار SPSS رابطه‌ای بین عدد فرود، قطر نسبی سنگدانه‌ها (D_{50}/y_t) و چگالی سنگ چین در دو شرایط آستانه حرکت و شکست ایجاد گردید. از نتایج حاصل از تحلیل داده‌های آزمایشگاهی، معادله (۱۱) برای آستانه حرکت و معادله (۱۲) برای آستانه شکست استخراج گردید. مقدار ضریب همبستگی این دو رابطه ۰/۸۵ می‌باشد:

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{0/109}{(G_S - 1)^{0/383}} Fr^{2/086} \quad Fr \leq 0/7 \quad (11)$$

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{0/782}{(G_S - 1)^{0/336}} Fr^{2/31} \quad Fr \leq 0/7 \quad (12)$$

در جدول (۳) مقایسه مجموع خطاها (RMSE) نتایج آماری تحقیق حاضر با نتایج محققین در شرایط آستانه حرکت و شکست نشان داده شده است. مقایسه نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با نتایج ارائه شده توسط محققین پیشین نشان داد که نتایج به‌دست آمده توسط سایمون و لویس (۱۹۷۱) در دو حالت آستانه حرکت شکست به‌دلیل درصد خطای کمتر، مطابقت بسیار خوبی با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهند و می‌توان با در نظر گرفتن ضریب تصحیح ۰/۹۷ برای آستانه حرکت و ۰/۹۲ برای آستانه شکست برای رابطه سایمون و لویس، از این روابط برای قوس ۱۸۰ درجه رودخانه استفاده گردد (۱۸).

منابع مورد استفاده

۱. صانعی، م. ۱۳۸۵، بررسی آزمایشگاهی اثر درصد انسداد در آبشستگی موضعی آب شکن ها، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، بهمن ۱۳۸۵.
۲. قربانی، ب. و م. حیدرپور. ۱۳۸۴، گزارش نهایی کنترل و کاهش آبشستگی موضعی با استفاده هم زمان از شکاف و سنگ چین، دانشگاه شهرکرد و صنعتی اصفهان، ۱۱۲ص.
۳. کیخانی، م.، م. حیدرپور و س. ف. موسوی، ۱۳۸۸، بررسی الگوی پوشش سنگ چین در محل احداث گروه پایه های استوانه ای در پل ها، مجله علوم فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۳(۴۹): ۲۹-۱۳.
۴. منصوری، ه.، م. و م. شفافی بجزستانی. ۱۳۹۰، طراحی قطر سنگ چین در اطراف تکیه گاه پل واقع در قوس رودخانه، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ۱(۴): ۳۵-۴۵.
۵. مسجدی، ع. و م. سبحانی. ۱۳۹۴، بررسی اثر شکل هندسی تکیه گاه پل در پایداری سنگ چین در قوس رودخانه، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۷۴(۱۹): ۶۱-۵۳.
6. Austroads, 1994. Waterway design, A guide to the hydraulic design of bridges, culverts and floodways, Sydney, Australia.
7. Breusers, H. N. C., G. Nicollet, H. W. Shen. 1977. Local scour around cylindrical piers. J. of Hydraulic Res. IAHR. 15(3): 211-252.
8. Chiew, Y. M. and B. W. Melville. 1987. Local scour around bridge piers. J. of Hydraulic. Research, 25(1):15-26.
9. Melville, B.W. and S.E. Coleman. 2000. Bridge Scour. Water Resources Publications. Highlands Ranch. Colo.
10. Melville, B. W., S. Van Ballegooy, S. E. Coleman and B. Barkdoll. 2007. Riprap size selection at wing-wall abutment. ASCE. J. Hydraulic. Eng. 133(11): 1265-1269.
11. Neil, C. R. 1973. Guide to Bridge Hydraulics. Road and Transportation Association of Canada, University of Toronto, Canada.
12. Oliveto, G. and W. H. Hager. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. J. of Hydraulic. Eng. ASCE. 128(9): 811-820.
13. Pagan-Ortiz, J. E. 1991. Stability of rock riprap for protection at the toe of abutments located at the flood plain Rep. No. FHWA-RD-91-057. Federal Highway Administration U.S. Dept. of Transportation Washington D.C.
14. Raudkivi, A. J. and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. J. of Hydrulic Eng. ASCE. 109(3): 338-350.
15. Raudkivi, A. J. 1998. Loose boundary hydraulics. 4th Edition. Rotterdam ; Brookfield, VT : Balkema. 496 p.
16. Richardson, E.V. and S. R. Davis. 1995. Evaluating scour at bridges. Hydraulic Engineering Circular, No. 18, 3rd Ed. Rep. No. FHWA-IP-90-017. Office of Technology Applications. HTA-22. Federal Highway Administration U.S. Dept. of Transportation Washington D.C.
17. Simarro, G., Ch. Chreties and L. Teixeira. 2011. Riprap sizing for pile group. J. of Hydraulic Eng., doi:10.1061/(ASCE)HY.1943.1943-7900.0000458.
18. Simons, D.B. and G. L. Lewis. 1971. Flood protection at bridge crossings. C.S.U. Civil Engineering Rep. No. CER71-72DBS-GL10. Prepared for the Wyoming State Highway Dept. in Conjunction with the U.S. Dept. of Transportation Washington D.C.
19. Sui, J., H. Afzalimehr, A. Kabiri Samani and M. Maherani. 2010. Clear-water scour around semi-elliptical abutments with armoured beds. Int. J. of Sediment Res. 25(3):233-244.
20. Zarrati, A. R., M. Nazariha and M. B. Mashahir. 2006. Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. ASCE. J. Hydraulic. Eng. 132(2):154-162.

Investigation of Diameter of Riprap around the Bridge Abutment at 180-Degree River Bend

M. Naserian and A. Masjedi^{1*}

(Received: July 08-2013 ; Accepted: April 04-2017)

Abstract

River bend due to particular pattern, called 'Vortex Flow,' has greater erosion than straight path. Occurrence of scour around bridge abutment on curved paths is one of the main reasons for destruction of bridges. Riprap is one of the methods to control the scouring around the bridge abutment. The purpose of this study was to assess stability of the riprap around the bridge abutment at 180 degree river bend. In order to study stability of riprap around the bridge abutment, experiments were done in a laboratory flume made of Plexiglas under 180 degree bend, 2.8 m in central radius, 0.6 m in width and $R/B=4.67$. In this research, several experiments were done by placing a bridge abutment with vertical winged wall made of Plexiglas surrounded by a series of riprap. Experiments were done by three different types of riprap with different density 1.7, 2.1 and 2.42, four different diameters 4.76, 9.52, 12.7 and 19.1 mm and four rates of discharge under pure water condition. In each experiment, flow depth was measured in terms of moving threshold and failure threshold and then the formulas were calculated by using data obtained. The results showed that the relative diameter of riprap increased with increasing Froude number in terms of moving threshold and failure threshold. Finally, the suitable formula to estimate diameter of riprap around the bridge abutment at 180 degree bend were presented in terms of moving threshold and failure threshold.

Keywords: 180 degree bend, Bridge abutment, Riprap, Secondary flow.

1. Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Islamic Azad Univ., Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: drmasjedi.2007@yahoo.com