



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12472.2714

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر تجمع اجسام شناور بر آبشستگی موضعی پایه و تکیه‌گاه پل

زهرا ابوسعیدی<sup>۱</sup>، \* کورش قادری<sup>۲</sup>، مجید رحیم‌پور<sup>۲</sup> و محمدمهدی احمدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۱۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** تجمع اجسام شناور در اطراف پایه و تکیه‌گاه‌های پل موجب کاهش سطح مقطع رودخانه، انحراف جریان، افزایش سرعت جریان و تغییر در الگوی آبشستگی می‌گردد. یکی از مباحث مهم در طراحی پل بر رودخانه‌ها، بررسی اثرات منفی ناشی از تجمع اجسام شناور چوبی می‌باشد این اجسام چوبی، وضعیت گوناگونی از لحاظ شکل جمع‌شدگی و نحوه قرارگیری در جلوی پایه‌های پل دارند که بیش‌تر در طبیعت به شکل مکعب مستطیل در جلو پایه تجمع می‌یابند. تأثیر اجسام شناور بر آبشستگی پایه پل توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته ولی تاکنون مطالعه کاملی برای بررسی اثر تجمع اجسام شناور بر الگوی جریان و مشخصه‌های چاله آبشستگی در حالت ترکیب پایه و تکیه‌گاه پل صورت نگرفته است. از این‌رو در این پژوهش تأثیر اجسام شناور با خصوصیات هندسی مختلف بر الگوی جریان و آبشستگی بستر در اطراف تکیه‌گاه و پایه پل به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش تأثیر فاصله بین پایه و تکیه‌گاه و نیز مشخصات هندسی اجسام شناور (شامل ضخامت، طول موثر و شکل آن‌ها) بر روی آبشستگی به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. کانال آزمایشگاهی دارای طول ۸ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد. مدل پایه پل (قطر ۳cm) و تکیه‌گاه (۶cm × ۱۲cm) از جنس گالوانیزه انتخاب گردید. تکیه ستر رسوبی به ضخامت ۱۶ سانتی‌متر از رسوبات با اندازه متوسط  $d_{50}=0.91$  تشکیل شده بود. برای جلوگیری از شسته شدن رسوبات، بستر کاذب در بالادست و پایین‌دست بازه مطالعاتی نصب شد. از اجسام منشوری مستطیلی، مثلثی و نیمه‌استوانه‌ای به‌عنوان مدل اجسام شناور استفاده شد (ضخامت نسبی اجسام شناور  $\frac{T_d}{D}$  در محدوده ۱ تا ۳ و طول نسبی اجسام شناور  $\frac{D_d}{D}$  در محدوده ۴ تا ۱۰ متغیر می‌باشد). سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی و حداکثر سرعت مربوط به آزمایش‌های این پژوهش به‌ترتیب ۰/۴ و ۰/۲ متر بر ثانیه می‌باشد که نشان می‌دهد، همه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال انجام گرفت.

\* مسئول مکاتبه: [kouroshqaderi@uk.ac.ir](mailto:kouroshqaderi@uk.ac.ir)

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که با کاهش فاصله نسبی بین تکیه‌گاه و پایه پل ( $\frac{G}{D}$ ) از ۶/۶۶ به ۳/۳۳ مقدار عمق حداکثر آبخستگی در اطراف پایه پل و تکیه‌گاه به ترتیب ۸ و ۱۲/۵ درصد افزایش یافت. همچنین اجسام شناور مستطیلی در مقایسه با سایر شکل‌های مورد بررسی بیشترین عمق آبخستگی را ایجاد کردند. با افزایش ضخامت نسبی اجسام شناور استوانه‌ای ( $\frac{Td}{D}$ ) از ۱ به ۳ عمق حداکثر در اطراف پایه پل و تکیه‌گاه به ترتیب ۷/۶ و ۲۴/۱ درصد افزایش یافت. آزمایش‌ها نشان داد که طول مؤثر اجسام شناور نیز تأثیر قابل توجهی بر ابعاد حفره آبخستگی دارد به طوری که عمق حداکثر آبخستگی در حضور اجسام شناور استوانه‌ای با طول نسبی ( $\frac{Dd}{D}$ ) ۱۰ در مقایسه با آزمایش شاهد برای پایه و تکیه‌گاه پل به ترتیب ۵۰/۸ و ۵۸ درصد بیش‌تر بوده است.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج این پژوهش مشخص گردید که تجمع اجسام شناور در بالادست پایه پل موجب افزایش عمق آبخستگی موضعی در پایه و تکیه‌گاه پل به ترتیب تا مقدار ۵۰/۸ و ۵۸ درصد گردید. عمق آبخستگی ایجاد شده در حضور اجسام شناور با ضخامت نسبی اجسام شناور رابطه مستقیمی داشته است به طوری که با دو برابر شدن ضخامت نسبی اجسام شناور مستطیلی، عمق آبخستگی در پایه و تکیه‌گاه پل به ترتیب ۱/۲ و ۱/۰۵ برابر شد. با افزایش قطر نسبی، ابتدا عمق آبخستگی افزایش یافت و سپس به یک مقدار تقریباً ثابتی رسید. به طور مثال برای اجسام شناور مستطیلی با تغییر طول نسبی از ۴ به ۱۰، عمق آبخستگی در پایه و تکیه‌گاه پل به ترتیب ۲۲/۴ و ۱۰/۲ درصد افزایش یافت ولی برای طول‌های نسبی بزرگ‌تر، تغییری در عمق آبخستگی مشاهده نشد. همچنین با کاهش فاصله بین پایه و تکیه‌گاه پل، حداکثر عمق آبخستگی در مقایسه با آزمایش شاهد به طور قابل توجهی افزایش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** عمق حداکثر آبخستگی، اجسام شناور، تکیه‌گاه پل، پایه پل

#### مقدمه

هر ساله با وقوع سیلاب در رودخانه‌ها تعداد زیادی از پل‌ها درست زمانی که بیش‌ترین نیاز به آن‌ها وجود دارد، تخریب می‌گردند. یکی از مؤثرترین عوامل این تخریب‌ها، آبخستگی در محل پایه و تکیه‌گاه‌ها می‌باشد. تخریب پل‌ها به علت آبخستگی، زیان‌های سنگین اقتصادی و جانی را به دنبال دارد. آبخستگی پدیده‌ای است که در اثر اندرکنش آب و رسوب در مجاورت سازه‌های هیدرولیکی به وجود آمده و گسترش آن منجر به تخریب و یا عدم کارایی چنین سازه‌هایی می‌شود. الگوی جریان و مکانیزم آبخستگی در اطراف تکیه‌گاه و پایه پل به دلیل وجود میدان جریان آشفته در اطراف آن‌ها پدیده پیچیده‌ای است (۹). پس از برخورد جریان به پایه یا تکیه‌گاه

پل، نخست جریان رو به پایین و در ادامه آن، گردابه‌های نعل اسبی و برخاستگی شکل می‌گیرد که عامل کنده شدن و انتقال رسوب به سمت پایین دست می‌باشند (۱).

در خصوص آبخستگی پایه و تکیه‌گاه پل مطالعات زیادی صورت گرفته است. طبق بررسی لاگاس (۲۰۰۷) ۶۰ درصد شکست پل‌ها به علت آبخستگی بوده است (۶). بر طبق مطالعات ملویل و کلن (۲۰۰۰) به طور متوسط در هر سال حداقل یک شکست جدی پل در نیوزلند به علت آبخستگی پی بوده است (۸). لاگاس و همکاران (۲۰۰۷) طی پژوهش‌های خود ادعا کردند که آبخستگی عامل خرابی ۶۰ درصد پل‌های بزرگ‌راه‌ها در ایالت متحده آمریکا می‌باشد (۷). ابن‌نیارکو و اتما (۲۰۱۱) به

گرفتند تجمع این اجسام باعث افزایش عمق آبستگي و واژگوني پایه پل می‌شود (۱۲). والرستين و همکاران (۱۹۹۷) و والرستين و تورن (۱۹۹۶) بر اساس شرایط رودخانه می‌سی‌سی‌پی نشان دادند که منشأ اجسام شناور تجمع‌یافته در جلوی پایه‌ها فرسایش سواحل خارجی، فرسایش سواحل رودخانه ناشی از واژگوني دیواره‌ها، طوفان‌ها و درختان شناور حوزه‌های بالادست می‌باشد (۱۸ و ۱۹). لاگاس و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که زبری و تخلخل اجسام شناور تأثیر زیادی بر روی الگوی آبستگي و عمق حداکثر آبستگي ندارد (۶). اشموکر و هاگر (۲۰۱۰) به بررسی آزمایشگاهی تجمع اجسام شناور در جلو پایه پل‌ها پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که انسداد اجسام شناور در جلو پایه پل موجب افزایش پس‌زدگی آب (*backwater*) و عدد فرود جریان شد و می‌تواند باعث به وجود آمدن جریان‌های بحرانی یا آشفته و حتی پرش هیدرولیکی گردد (۱۷). پالیارا و کارناسینا (۲۰۱۰ و ۲۰۱۱) نشان دادند عمق آبستگي در حضور اجسام شناور ممکن است حداکثر تا سه برابر عمق آبستگي بدون حضور اجسام شناور گردد. بر اساس یافته‌های آن‌ها، شدت جریان و نسبت انسداد پارامترهای اصلی تأثیرگذار بر روی توسعه زمانی آبستگي می‌باشند. آن‌ها بیان نمودند هندسه چاله آبستگي به زبری نسبی اجسام شناور بستگی ندارد و آن‌ها بر اساس داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده رابطه‌ای برای تخمین عمق آبستگي ارائه نمودند و نشان دادند که عمق آبستگي بستگی زیادی به‌میزان انقباض جریان ناشی از تجمع اجسام شناور داشته است همچنین آن‌ها آزمایش‌های آبستگي را در حالت آب زلال برای سه شکل هندسی اجسام شناور (مستطیلی، مثلثی و دایره‌ای) و شرایط هیدرولیکی مختلف انجام دادند. آن‌ها محدوده وسیعی از ضخامت و عرض اجسام شناور را برای بررسی تأثیر این

بررسی تأثیر نزدیکی پایه به تکیه‌گاه روی آبستگي پایه و تکیه‌گاه پرداختند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که حضور پایه در نزدیکی تکیه‌گاه نه‌تنها منجر به افزایش قابل‌توجهی روی عمق آبستگي تکیه‌گاه نمی‌شود بلکه برای هنگامی که پایه در نزدیکی پنجه یک تکیه‌گاه شیب‌دار قرار می‌گیرد این عمق کاهش می‌یابد (۱۱). هانگ (۲۰۰۵) تأثیر حضور پایه را در نزدیکی تکیه‌گاه مورد بررسی قرار داد. نتایج پژوهش‌های این پژوهشگر نشان داد حضور پایه روی عمیق‌تر شدن آبستگي در نزدیکی تکیه‌گاه تأثیرگذار است (۴).

همان‌طور که مشخص است، مبحث آبستگي پایه و تکیه پل به حد مطلوبی مورد بررسی پژوهشگران مختلف قرار گرفته است. اما یکی از عوامل مهم که باعث تشدید میزان آبستگي پایه و تکیه‌گاه پل می‌شود، تجمع اجسام شناور و شاخ و برگ درختان در اطراف این سازه‌ها می‌باشد. در هنگام سیل اجسام شناور چوبی به‌صورت ترکیبی از قطعات درختان در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل تجمع پیدا می‌کنند و سبب کاهش سطح مقطع جریان و آبستگي‌های قابل‌توجه در این سازه‌ها می‌شوند. در این حالت گرداب‌های نعل‌اسبی و برخاستگی قوی‌تر در پشت پایه پل شکل گرفته و آبستگي بزرگ‌تری ایجاد می‌شود که می‌تواند منجر به تخریب پل گردد (۷). در سال ۱۹۹۳ تجمع اجسام شناور و قطعات درختان بر روی پایه‌های یکی از پل‌های رودخانه می‌سی‌سی‌پی موجب تخریب ناگهانی این پل گردید (۳).

دیهل (۱۹۹۷) در مطالعات خود ثابت کرد که تجمع اجسام شناور به‌شدت وابسته به رابطه بین طول اجسام شناور و عرض کانال بالادست می‌باشد (۲). پارولا و همکاران (۲۰۰۰) به‌طور کیفی اثرات تجمع اجسام شناور چوبی را بر پل‌ها بررسی نمودند و نتیجه

مختلف مورد بررسی قرار گرفته ولی برای بررسی اثر تجمع اجسام شناور بر الگوی جریان و مشخصه‌های چاله آبستگي در حالت ترکیب پایه و تکیه‌گاه پل صورت نگرفته است. از این‌رو در این پژوهش تأثیر اجسام شناور با خصوصیات هندسی مختلف بر آبستگي بستر در اطراف تکیه‌گاه و پایه پل به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

**تحلیل ابعادی:** پارامترهای مؤثر بر آبستگي پایه و تکیه‌گاه پل در حضور اجسام شناور شامل  $d_s$  حداکثر عمق آبستگي،  $B$  عرض کانال،  $L_a$  طول تکیه‌گاه،  $B_a$  عرض تکیه‌گاه،  $U$  سرعت جریان،  $h$  عمق جریان،  $g$  شتاب ثقل،  $\rho$  چگالی جریان،  $\mu$  لزجت سینماتیکی سیال،  $\rho_s$  چگالی رسوب،  $d_{50}$  قطر متوسط ذرات رسوبی،  $D$  قطر پایه،  $G$  فاصله بین پایه و تکیه‌گاه،  $L_D$  طول اجسام شناور،  $T_D$  قطر اجسام شناور می‌باشند. با استفاده از قضیه  $\pi$  پارامترهای بی‌بعد به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\frac{d_s}{D} = F\left(\frac{L_a}{D}, \frac{B_a}{D}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{L_D}{D}, \frac{T_D}{D}, \frac{h}{D}, \frac{G}{D}, \frac{B}{D}, \frac{U}{\sqrt{gd}}, \frac{\rho U D}{\mu}, \frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)$$

شرایط آزمایشگاهی این پژوهش، معادله به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{d_s}{D} = F\left(\frac{L_D}{D}, \frac{T_D}{D}, \frac{G}{D}\right)$$

شده است، دارای طول ۸ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد. دو پمپ گریز از مرکز آب را از یک مخزن زیرزمینی پمپاژ کرده و به مخزن ورودی کانال منتقل می‌نماید. میزان جریان ورودی به

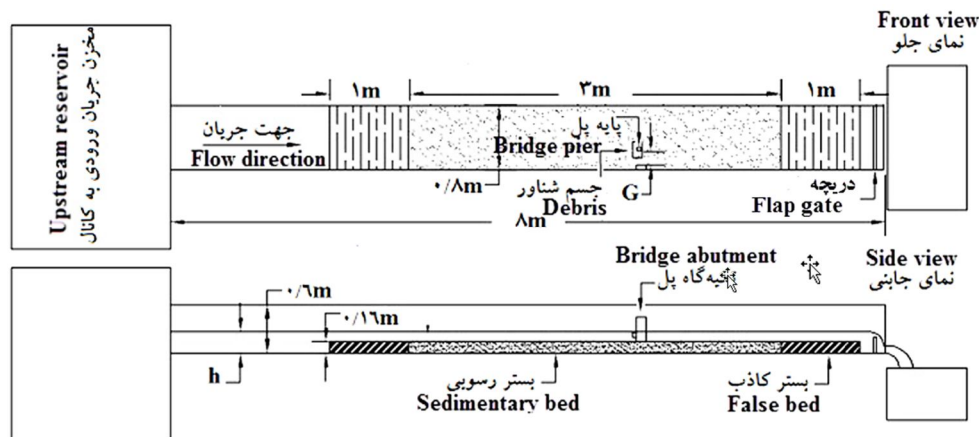
پارامترها بر روی توسعه زمانی عمق آبستگي مورد مطالعه قرار دادند و در نهایت یک رابطه طراحی به منظور پیش‌بینی عمق آبستگي در حضور اجسام شناور ارائه نمودند (۱۳ و ۱۴). پارک و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که عمق آبستگي در اطراف پایه پل به ابعاد و ضخامت اجسام شناور بستگی دارد. آن‌ها معادلات مختلفی که توسط پژوهشگران به منظور پیش‌بینی عمق آبستگي اطراف پایه پل پیشنهاد شده بود را با مشاهدات آزمایشگاهی خود مورد مقایسه قرار داده و با اصلاح معادله ملویل (۱۹۹۲) رابطه جدیدی را برای تخمین عمق آبستگي در حضور اجسام شناور و شمع ارائه کردند (۱۵). مشعشی و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر اجسام شناور چوبی مستطیلی بر آبستگي پایه‌های مربعی و مربعی دماغه تیز را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد وجود اجسام شناور در جلوی پایه‌های پل مربعی و مربعی با دماغه تیز تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر روی عمق، عرض و طول گودال آبستگي دارد (۱۰). همان‌طور که مشخص است با وجود آن‌که تأثیر اجسام شناور بر آبستگي پایه پل توسط پژوهشگران

که در آن،  $F_r = \frac{D}{\sqrt{gh}}$  عدد فرود،  $Re = \frac{\rho D h}{\mu}$  عدد رینولدز و  $G_s = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$  چگالی نسبی رسوب می‌باشند. با صرف نظر کردن از پارامترهای بی‌بعد ثابت در

**تجهیزات آزمایشگاهی:** آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گردید. کانال آزمایشگاهی که نمای کلی آن در شکل ۱ نشان داده

فلوم نصب گردیده بود استفاده شد. جریان آب پس از عبور از روی این سرریز، به سمت مخزن زیرزمینی هدایت می‌گردد و مجدداً به کانال اصلی پمپاژ می‌شود.

مخزن توسط دبی‌سنج حجمی که روی لوله انتقال آب نصب شده، قابل قرائت می‌باشد. از یک شیرفلکه پروانه‌ای برای تنظیم جریان ورودی به کانال استفاده شد. برای تنظیم عمق آب در داخل کانال آزمایشگاهی از یک دریچه مستطیلی که به این منظور در انتهای

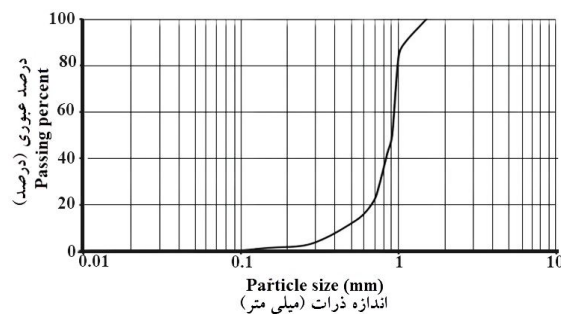


شکل ۱- کانال آزمایشگاهی و ملحقات آن.

Figure 1. Experimental flume and its equipment.

دانه‌بندی آن در شکل ۲ ارائه شده است. رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) بیان نمودند که برای پیشگیری از تشکیل فرم بستر طول مؤثر متوسط ذرات باید بیش‌تر از  $0.7$  میلی‌متر باشد (۱۶). همچنین برای حذف اثر مقیاس رسوب‌ها بر عمق آبشستگی، باید  $D/d_{50} > 20-25$  باشد  $D$  طول مؤثر پایه و  $d_{50}$  طول مؤثر متوسط ذرات (۱۶).

به‌منظور اطمینان از توسعه‌یافتگی کامل جریان، ابتدای بازه آزمایشی رسوبات در فاصله ۴ متری از ورودی کانال در نظر گرفته شد. طول بستر رسوبی ۳ متر و عرض آن برابر با عرض کانال لحاظ گردید. بستر رسوبی به ضخامت ۱۶ سانتی‌متر از رسوبات با اندازه متوسط  $d_{50} = 0.91 \text{ mm}$  و ضریب یکنواختی  $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 1/4$  تشکیل شده بود که منحنی



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی رسوب.

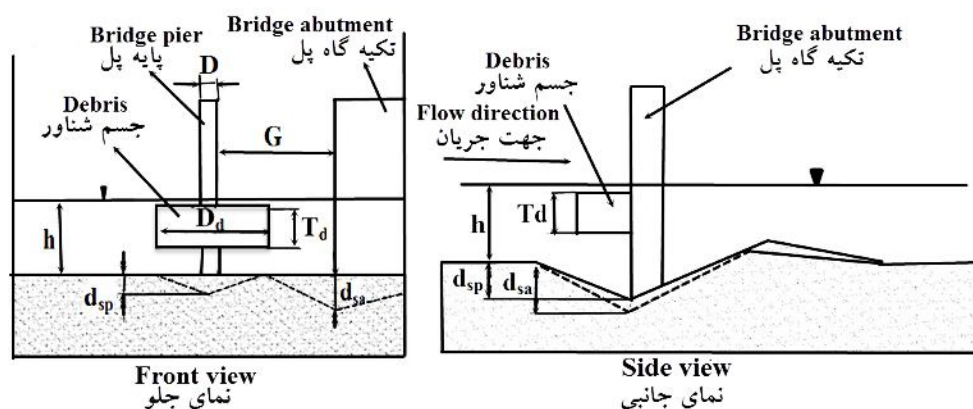
Figure 2. Sediment particles distribution curve.

مستطیل به ابعاد ۶×۱۲ سانتی‌متر و از جنس فولاد ساخته شد. از اجسام منشوری مستطیلی، مثلثی و نیمه‌استوانه‌ای به‌عنوان مدل اجسام شناور استفاده شد (شکل ۴). این اجسام شناور با پنج طول مؤثر نسبی  $(\frac{D_d}{D})$ ، ۴، ۵/۳۳، ۶/۵، ۸ و ۱۰ و پنج ضخامت نسبی  $(\frac{T_d}{D})$ ، ۱، ۱/۳۳، ۱/۶۶، ۲/۳۳ و ۳ مورد بررسی قرار گرفتند.

برای جلوگیری از شسته شدن رسوبات، بستر کاذب در بالادست و پایین‌دست بازه مطالعاتی نصب شد به طوری که هم‌سطح رسوبات گردد.

در شکل (۳) موقعیت اجسام شناور نسبت به بستر رسوبی و پایه پل به همراه پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش مشخص شده است.

مدل پایه پل از یک لوله استوانه‌ای شکل فولادی به طول مؤثر ۳ سانتی‌متر و مدل تکیه‌گاه به شکل



شکل ۳- نمای کلی از پایه و تکیه‌گاه پل، جسم شناور و پارامترهای مورد بررسی.

Figure 3. Schematic representation of bridge pier and abutment, debris and the investigated parameters.

جدول ۱- اجسام شناور با هندسه‌های مختلف.

Table 1. debris with different geometries.

مثلثی triangular		نیم‌استوانه‌ای semi-circular		مستطیلی rectangular	
$T_d/D$	$D_d/D$	$T_d/D$	$D_d/D$	$T_d/D$	$D_d/D$
۱	۴	۱	۴	۱	۴
۱/۳۳	۵/۳۳	۱/۳۳	۵/۳۳	۱/۳۳	۵/۳۳
۱/۶۶	۶/۵	۱/۶۶	۶/۵	۱/۶۶	۶/۵
۲/۳۳	۸	۲/۳۳	۸	۲/۳۳	۸
۳	۱۰	۳	۱۰	۳	۱۰

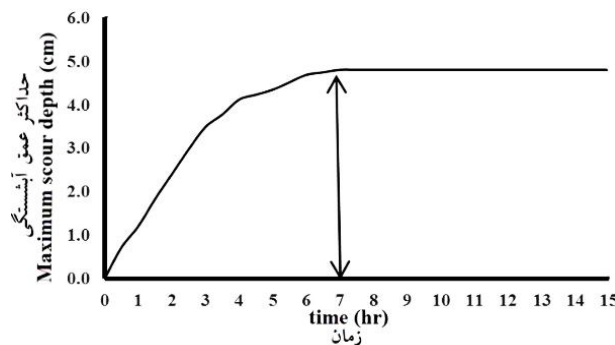


شکل ۴- چند نمونه از مدل اجسام شناور با هندسه‌های مختلف به کار رفته در پژوهش.  
**Figure 4. Sample debris with different geometries used in this research.**

زمان در مدت ۱۵ ساعت ثبت شد. معیار زمان تعادل در این آزمایش‌ها معیاری است که کومار و همکاران (۱۹۹۹) در پژوهش خود در نظر گرفتند و آن مدت زمانی است که تغییرات عمق آبشستگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی‌متر نباشد (۵). بنابراین همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است. در پژوهش حاضر نیز زمان آبشستگی برابر ۷ ساعت در نظر گرفته شد.

روش انجام آزمایش: همه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال انجام گرفت. سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی ۰/۴ متر بر ثانیه بوده است در صورتی که حداکثر سرعت حرکت ذرات رسوبی که در آزمایش‌ها استفاده گردید ۰/۲ متر بر ثانیه می‌باشد.

برای به دست آوردن زمان تعادل آبشستگی، یک آزمایش بلندمدت صورت پذیرفت و تغییرات آبشستگی در محدوده تکیه‌گاه و پایه پل نسبت به



شکل ۵- منحنی زمان تعادل آبشستگی.  
**Figure 5. Equilibrium condition curve.**

لیزری با دقت ۱ میلی‌متر برداشت گردید. شکل ۶ جانمایی پایه و تکیه‌گاه پل و توپوگرافی بستر رسوبی را قبل و بعد از انجام یکی از آزمایش‌ها نشان می‌دهد.

در انتهای هر آزمایش، پمپ خاموش و آب موجود در کانال به آرامی زهکشی می‌شد تا تغییری در توپوگرافی بستر ایجاد نگردد. پس از تخلیه کامل آب درون کانال، توپوگرافی بستر به وسیله یک عمق‌سنج





ب) (b)

الف) (a)

شکل ۶- توپوگرافی بستر رسوبی (الف) قبل و (ب) بعد از آبستگی.

Figure 6. Topography of sedimentary bed a) before and b) after the scour.

افزایش یافت و حداکثر عمق آبستگی به یک مقدار تقریباً ثابت رسید. در این راستا مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که با تغییر طول نسبی ( $\frac{Dd}{D}$ ) اجسام شناور از ۴ به ۱۰ و در فاصله نسبی پایه از تکیه‌گاه پل ( $\frac{G}{D}$ ) ۵، مقدار عمق نسبی آبستگی جلوی پایه پل ( $\frac{d_{sp}}{D}$ ) از  $\frac{1}{6}$  به  $\frac{1}{9}$  و دماغه انتهایی تکیه‌گاه پل ( $\frac{d_{sa}}{D}$ ) از  $\frac{3}{1}$  به  $\frac{3}{3}$  افزایش می‌یابد. از مقایسه قسمت‌های الف و ب شکل ۷ مشخص می‌شود که عمق آبستگی در اطراف تکیه‌گاه پل همواره بزرگ‌تر از پایه پل بوده است. این پدیده به دلیل شکل‌گیری گردابه‌های قوی‌تر در اطراف تکیه‌گاه (به دلیل جداشدگی بیشتر جریان) می‌باشد که سبب می‌شود رسوبات بیش‌تری از بستر رسوبی در اطراف تکیه‌گاه جدا شده و همراه با جریان عمومی کانال به سمت پایین‌دست منتقل گردید.

پارامتر دیگری که تأثیر قابل‌توجهی بر حداکثر عمق آبستگی داشته است، ضخامت اجسام شناور می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت اجسام شناور در فاصله نسبی پایه از تکیه‌گاه پل ( $\frac{G}{D}$ ) ۵، حداکثر عمق آبستگی جلوی پایه پل حداکثر تا مقدار ۵۰ درصد و در انتهای دماغه تکیه‌گاه پل تا

### نتایج و بحث

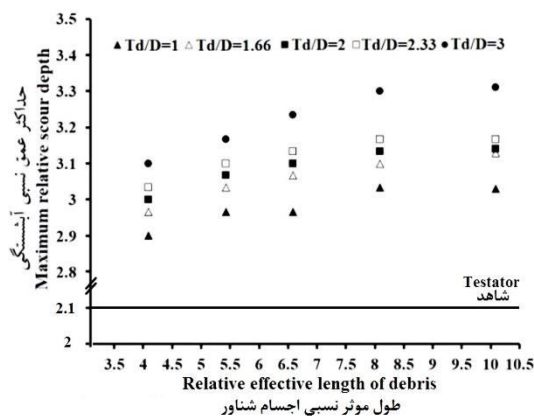
در این پژوهش اثر متقابل تکیه‌گاه و پایه پل در حضور اجسام شناور و عدم وجود اجسام شناور (آزمایش شاهد) به‌صورت آزمایشگاهی با جریانی به عمق ۱۱ سانتی‌متر مورد مطالعه قرار گرفت. اجسام شناور به پایه پل وصل بودند و در فواصل نسبی مختلف  $\frac{1}{66}$ ،  $\frac{3}{33}$ ، ۵ و  $\frac{6}{66}$  نسبت به تکیه‌گاه پل قرار گرفتند. در این راستا تأثیر ضخامت نسبی، طول مؤثر نسبی و شکل اجسام شناور بر آبستگی موضعی پایه و تکیه‌گاه پل بررسی گردید. تأثیر هر یک از این پارامترها به‌صورت مجزا در ادامه تشریح گردیده است.

**تأثیر طول نسبی و ضخامت نسبی اجسام شناور:**  
شکل ۷ تأثیر طول نسبی اجسام شناور را بر آبستگی پایه (۷- الف) و تکیه‌گاه پل (۷- ب) نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۷- الف) مشخص است، با افزایش طول نسبی اجسام شناور عمق آبستگی در ابتدا با شدت بیش‌تر افزایش می‌یابد و سپس به سمت مقدار ثابتی میل می‌کند (تغییرات عمق آبستگی تقریباً صفر می‌شود). در واقع وقتی مقدار طول مؤثر نسبی از ۱۰ بیش‌تر شد، فقط گستره چاله آبستگی

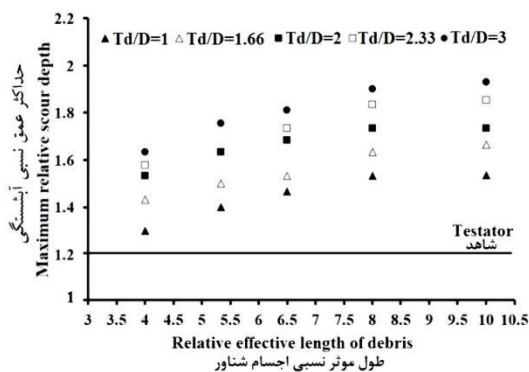


آبشستگی بیشتر گردد. به عنوان نمونه حداکثر عمق آبشستگی پایه پل در ضخامت نسبی ۱ نسبت به ضخامت نسبی ۳، ۲۴/۶ درصد افزایش داشته است. در این حالت مقدار افزایش عمق آبشستگی در تکیه‌گاه پل ۹/۲ درصد بوده است.

۵۰/۸ افزایش می‌یابد. همچنین حداکثر عمق آبشستگی دماغه انتهایی تکیه‌گاه پل حدود ۱۵/۶ درصد از حداکثر عمق آبشستگی پایه پل بیش‌تر بوده است. با افزایش ضخامت نسبی اجسام شناور، میزان انقباض جریان بیش‌تر شد و سرعت و تنش برشی جریان افزایش یافت و موجب شد عمق گودال



(الف)



(ب)

شکل ۷- تأثیر طول مؤثر نسبی اجسام شناور بر آبشستگی: الف) تکیه‌گاه، ب) پایه پل.

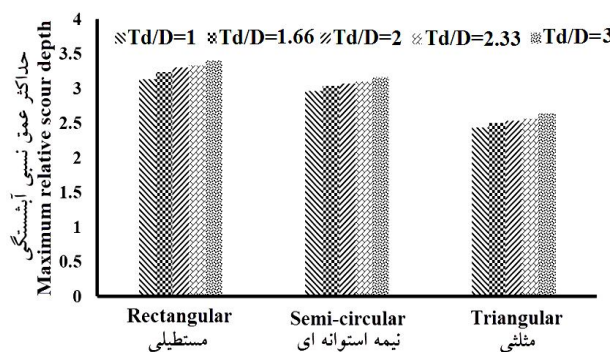
Figure 7. Effect of debris relative effective length on the scour of bridge a) abutment, b) pier.

عمق آبشستگی در حالت‌های مختلف نشان داد که اجسام شناور مستطیلی بیش‌ترین عمق آبشستگی را در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل ایجاد کرده‌اند و اجسام شناور نیمه‌استوانه‌ای و مثلثی به ترتیب سبب ایجاد اعماق کم‌تری شدند. مشاهدات نشان داد که اجسام

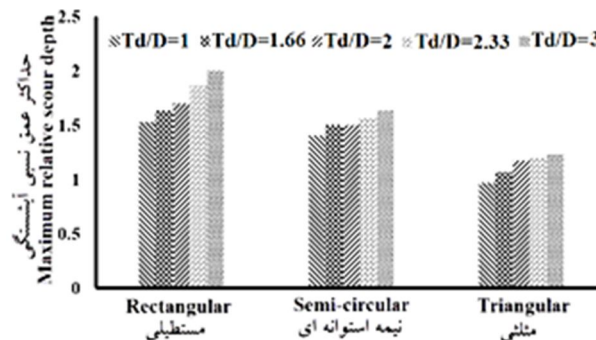
تأثیر شکل اجسام شناور: همان‌طور که گفته شد، در این پژوهش سه نوع جسم شناور مستطیلی، مثلثی و نیمه‌استوانه‌ای مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که شکل اجسام شناور تأثیر چشم‌گیری بر حداکثر عمق آبشستگی در پایه و تکیه‌گاه پل دارد. مقایسه

ایجاد کرد که سبب انتقال بیشتر رسوبات و افزایش عمق چاله آبستگي گردید. اجسام شناور مستطیلی، استوانه‌ای و مثلثی به ترتیب حدود ۴/۱۵، ۳/۳۹ و ۲/۵۹ درصد حداکثر عمق آبستگي پایه پل و به ترتیب حدود ۵۹/۳۷، ۴۸/۴۳ و ۲۳/۴۳ درصد حداکثر عمق آبستگي دماغه انتهایی تکیه‌گاه پل را افزایش دادند.

شناور مستطیلی با طول مؤثر نسبی ۴ و ضخامت نسبی ۳ عمق آبستگي را در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل به ترتیب ۵۳/۱ و ۵۷/۷ درصد نسبت به آزمایش‌های شاهد افزایش دادند (شکل ۸) در واقع تجمع اجسام شناور مستطیلی در بالادست پایه پل سبب جداشدگی بیشتر جریان در مقایسه با اجسام شناور نیمه‌استوانه‌ای و مثلثی شده و گرداب‌های برخاستگی قوی‌تری را



(a) الف



(b) ب

شکل ۸- تأثیر شکل اجسام شناور بر آبستگي الف) تکیه‌گاه پل، ب) پایه پل.

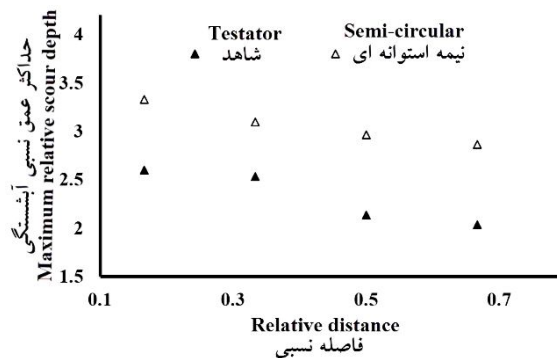
Figure 8. Effect of debris shape on the scour of bridge a) abutment, b) pier.

قوی‌تر شده و مقدار آبستگي افزایش می‌یابد. به طوری‌که حداکثر عمق نسبی آبستگي پایه و تکیه‌گاه پل از مقدار ۲/۸۶ در حالت  $\frac{G}{D}=۶/۶۶$  به مقدار ۳/۱ برای  $\frac{G}{D}=۳/۳۳$  رسید. شکل ۹ تأثیر فاصله بین پایه و تکیه‌گاه پل بر آبستگي اطراف آن‌ها را در دو حالت (۱) بدون حضور اجسام شناور، (۲) با حضور

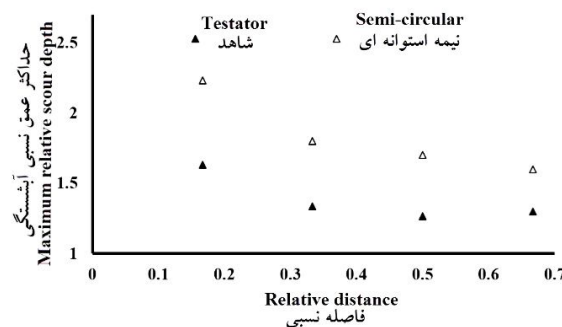
تأثیر فاصله بین پایه و تکیه‌گاه بر آبستگي: تغییر فاصله بین پایه و تکیه‌گاه پل سبب تغییر سطح مقطع جریان و سرعت آن و تنش برشی وارده از طرف جریان به بستر رسوبي می‌شود. در این پژوهش با بررسی این متغیر مشخص گردید که با کاهش فاصله بین پایه و تکیه‌گاه پل جت جریان عبوری از بین آن‌ها

به عبارت دیگر با نزدیک تر شدن پایه و تکیه گاه به هم، اندرکنش جریان، پایه، تکیه گاه و اجسام شناور شدیدتر شده و آبستگی بیش تری صورت می گیرد.

اجسام شناور مستطیلی نشان می دهد. همان طور که مشخص است در هر دو حالت با افزایش فاصله بین پایه و تکیه گاه پل عمق آبستگی کاهش می یابد.



(a) الف



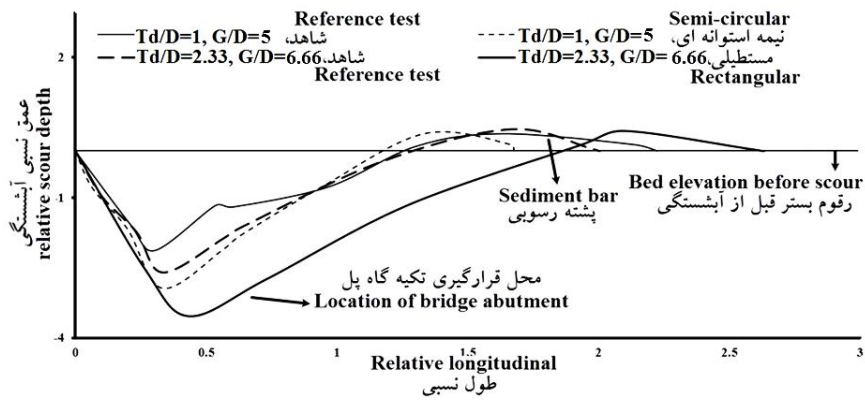
(b) ب

شکل ۹- تأثیر فاصله نسبی پایه و تکیه گاه پل بر آبستگی الف) تکیه گاه، ب) پایه پل.

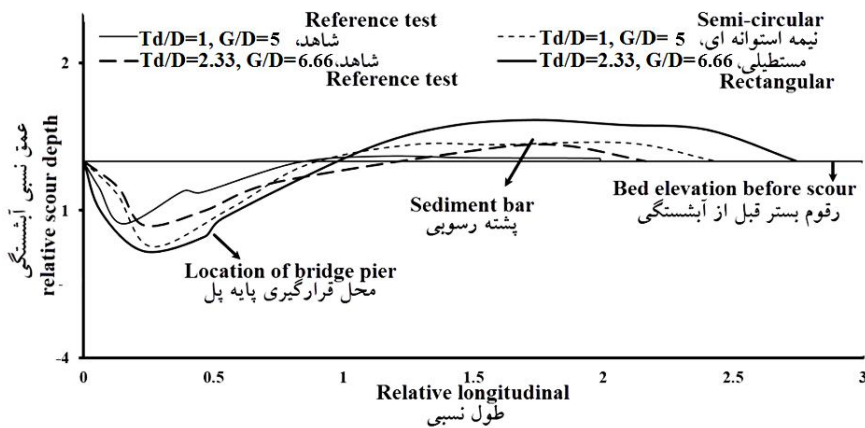
Figure 9. Effect of relative distance between pier and abutment on the scour of a) abutment, b) pier.

رسوبی را بعد از انجام آزمایش شاهد و آزمایش های در حضور اجسام شناور نشان می دهد. همان طور که مشخص است، تجمع اجسام شناور سبب بزرگ تر شدن ابعاد چاله آبستگی شده و باعث می شود رسوبات تا نقاط دورتری در پایین دست انتقال یابد. همان طور که در شکل مقطع عرضی نشان داده شده است.

نیمرخ طولی و عرضی عمق آبستگی در اطراف پایه و تکیه گاه پل: برداشت پروفیل طولی و عرضی چاله آبستگی و تعیین حجم آبستگی در مطالعات آزمایشگاهی، علاوه بر مشخص کردن ابعاد و شکل چاله آبستگی، برای واسنجی و صحت سنجی مدل های عددی نیز می تواند مورد استفاده قرار بگیرد. شکل های ۱۰ و ۱۱ نیمرخ طولی و عرضی بستر



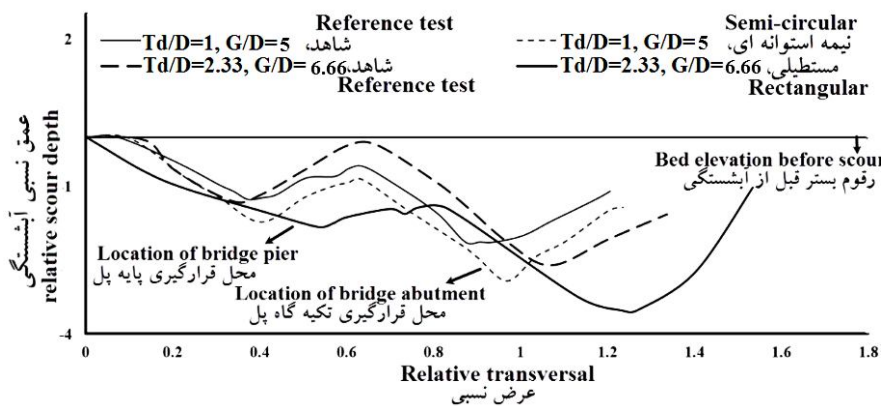
(a) الف



(b) ب

شکل ۱۰- نیمرخ طولی چاله آبستگی: الف) تکیه گاه پل، ب) پایه پل.

Figure 10. Longitudinal profile of scour hole a) abutment, b) pier.

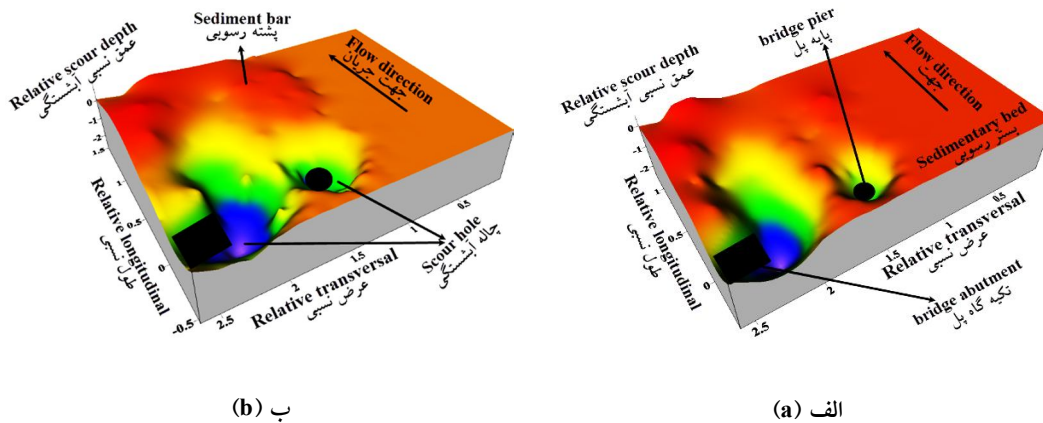


شکل ۱۱- نیمرخ عرضی چاله آبستگی.

Figure 11. Transversal profile of scour hole a) abutment, b) pier.

نسبی ۳ و طول مؤثر نسبی ۶/۵ با فاصله نسبی ۶/۶۶ بین پایه و تکیه‌گاه پل نشان می‌دهد. حجم آبستگي در حالت حضور جسم شناور نسبت به آزمایش شاهد ۴۷/۶ درصد افزایش می‌یابد.

همواره عمق آبستگي در اطراف تکیه‌گاه بیش‌تر از پایه پل بوده است که به دلیل شکل‌گیری گرداب‌های قوی‌تر در اطراف تکیه‌گاه می‌باشد. همچنین شکل ۱۲ توپوگرافی بستر رسوبي را بعد از انجام آزمایش شاهد و آزمایش با جسم شناور نیمه‌استوانه‌ای با ضخامت



شکل ۱۲- توپوگرافی نهایی بستر رسوبي الف) شاهد و ب) با حضور جسم شناور نیمه‌استوانه‌ای.

Figure 12. Final topography of sedimentary bed a) reference test, b) test with semi-circular debris.

گردید که عمق آبستگي ایجاد شده در حضور اجسام شناور با ضخامت نسبی اجسام شناور رابطه مستقیمی داشته است به طوری که با دو برابر شدن ضخامت نسبی اجسام شناور مستطیلی، عمق آبستگي در پایه و تکیه‌گاه پل به ترتیب ۱/۲ و ۱/۰۵ برابر شد. با افزایش قطر نسبی، ابتدا عمق آبستگي افزایش یافت و سپس به یک مقدار تقریباً ثابتی رسید. به طور مثال برای اجسام شناور مستطیلی با تغییر طول نسبی از ۴ به ۱۰، عمق آبستگي در پایه و تکیه‌گاه پل به ترتیب ۲۲/۴ و ۱۰/۲ درصد افزایش یافت ولی برای طول‌های نسبی بزرگ‌تر، تغییری در عمق آبستگي مشاهده نشد. همچنین با کاهش فاصله بین پایه و تکیه‌گاه پل، حداکثر عمق آبستگي در مقایسه با آزمایش شاهد به طور قابل توجهی افزایش یافت. بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی مشخص گردید عمق آبستگي در اطراف تکیه‌گاه پل همواره بیش‌تر از پایه پل بوده

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر متقابل تکیه‌گاه و پایه پل، ضخامت، طول مؤثر و شکل اجسام شناور بر آبستگي موضعی تکیه‌گاه و پایه پل به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عمق حداکثر آبستگي با کاهش فاصله بین پایه و تکیه‌گاه افزایش می‌یابد. ضخامت و طول مؤثر اجسام شناور بر آبستگي پایه و تکیه‌گاه پل مؤثر بوده و عمق حداکثر آبستگي را زیاد می‌کنند. شکل اجسام شناور بر آبستگي تأثیر زیادی دارد، به ترتیب اجسام شناور مستطیلی، استوانه‌ای و مثلثی آبستگي بیش‌تری ایجاد می‌کنند. مشاهدات نشان داد که اجسام شناور مستطیلی با طول مؤثر نسبی ۴ و ضخامت نسبی ۳ عمق آبستگي را در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل به ترتیب ۵۳/۲ و ۵۷/۷ درصد نسبت به آزمایش شاهد افزایش دادند. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص

است که به دلیل شکل‌گیری گرداب‌های قوی‌تر در اطراف تکیه‌گاه پل می‌باشد. مقایسه توپوگرافی نهایی بستر رسوبی در نمونه شاهد و آزمایش با جسم شناور نیمه‌استوانه‌ای نشان داد که حجم آبستنگی در حالت حضور جسم شناور نسبت به آزمایش شاهد ۴۷/۶ درصد افزایش یافت.

#### منابع

1. Breusers, H., Nicollet, G., and Shen, H. 1997. Local scour around cylindrical piers. *J. Hydr. Res. IAHR*, 15: 3. 211-252.
2. Diehl, T. 1997. Potential drift accumulation at bridge. Report No. FHWARD -97-028, Hydraulic Engineering No. 9, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
3. Hagerty, D., Parola, A., and Fenske, T. 1995. Impacts of. 1993. Upper Mississippi river basin floods on highway systems. Report No. 1483. Transportation research board, Washington, DC. 121: 12. 869-876.
4. Hong S. 2005. Interaction of bridge contraction scour and pier scour in a laboratory river model. M.Sc. thesis. Civil and Environmental Deep. Georgia Inst. of Technology. Atlnd.
5. Kumar, V., Rang Raju, K., and Vittal, N. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slot and collars. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 125: 12. 1302-1305.
6. Lagasse, P., Clopper, P., and Zevenbergen, L. 2010. Effects of Debris on Bridge Pier Scour, NCHRP Report 653, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, D.C. 117p.
7. Lagasse, P., Zevenbergen, L., Schall, J., and Clopper, P.E. 2007. Countermeasures to protect Bridge piers from scour. NCHRP Report No. 593, Transportation Research Record, Transportation Research Board, Washington, D.C. 6p.
8. Melville, B.W. 1992. Local Scour at bridge abutment. *J. Hydr. Engin.* 118: 4. 615-631.
9. Melville, B. 1997. Pier and abutment scour—an integrated approach. *J. Hydr. Engin.* 123: 2. 125-136.
10. Moshashaie, M. 2014. Experimental investigation of the effect of rectangular woody debris on scour of a sharp nose square and a square piers, M.Sc. dissertation, Faculty of agriculture, Shahr-e-Kord University. (In Persian)
11. Oben-nyarko, K., and Ettema, R. 2011. Pier and abutment scour interaction. *J. Hydr. Engin. ASCE*. Pp: 1599-1605.
12. Parola, A., Apelt, C., and Jempson, M. 2000. Debris Force on Highway Bridge. NCHRP Report No. 445, Transportation Research Record, Transportation Research Board, Washington, D.C. 176p.
13. Pagliara, S., and Carnacina, L. 2010. Temporal scour evolution at bridge piers: effect of wood debris roughness and porosity, *J. Hydr. Res.* 48: 1. 3-13.
14. Pagliara, S., and Carnacina, L. 2011. Influence of Wood Debris Accumulation on Bridge Pier Scour. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 137: 254-261.
15. Park, J., Chamroeun, S., Park, C., and Young, D. 2015. A Study on the Effects of Debris Accumulation at Sacrificial Piles on Bridge Pier Scour. *KSCE J. Civil Engin.* 20: 4. 1546-1551.
16. Raudkivi, A., and Ettema, R. 1983. Clear water scour at cylindrical piers. *J. Hydr. Engin. ASCE*, 103: 10. 1209-1213.
17. Schmocker, L., and Hanger, W. 2010. Drift accumulation at River Bridge. Laboratory of Hydraulic, Hydrology and Glaciology VAW, ETH-Zurich, Zurich, Switzerland Bundesanstalt fur Wasserbau ISBN 978-3-939230-00-7.
18. Walleerstein, N., and Thome, C. 1996. Impact of wood debris on fluvial processes and channel morphology in stable and unstable stream. US Army Research Development and standardization Group., UK, London. 162p.
19. Walleerstein, N., and Thome, C., and Doyle, M. 1997. Spatial distribution and impact of large woody debris in norther Mississippi. Proceedings of the conference and Management of Landscapes Disturbed by channel Incision, May 19-23. Pp: 145-150.





## Laboratory investigation of the effect of debris accumulation on the local scour at bridge pier and abutment

Z. Abousaeidi<sup>1</sup>, \*K. Qaderi<sup>2</sup>, M. Rahimpour<sup>2</sup> and M.M. Ahmadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Water Structures, Shahid Bahonar University of Kerman,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

Received: 01.02.2017; Accepted: 05.09.2018

### Abstract

**Background and Objectives:** Accumulation of floating debris around the bridge's piers and abutments reduced the river flow area, flow diversion, flow accelerating and altering of scour pattern. The investigation of potential impacts of debris on the local scour processes is one of the main factors in design of bridge structures across the rivers. These wooden floating debris may have different shapes in terms of accumulation and position, often have rectangular shape in the nature. Although, the effect of debris on piers scour has been studied by different researchers, to the author's knowledge, no investigation has been conducted to study the effect of debris on flow pattern and scour hole characteristics in the case of combinative presence of pier and abutment. Therefore, in this study, the effect of debris with different geometrical characteristics on the pier and abutment scour and flow behavior was investigated experimentally.

**Materials and Methods:** In this study, the effect of distance between bridge pier and abutment, geometrical characteristics of debris (including thickness, diameter and shape) on the scour was investigated experimentally. The experiments were conducted at the hydraulic and water structures laboratory of department of water engineering of Shahid Bahonar university of Kerman. The experimental flume has a rectangular cross section with 8 m length, 80 cm width and 60 cm depth. Model of bridge pier (diameter 3 cm) and bridge abutment (6 cm \* 12 cm) was selected by stainless steel. Sedimentary bed with thickness of 16 cm, was composed of sediments with  $d_{50}=0.91$  mm. To avoid undesirable erosion of sediment, false bottoms were installed at the upstream and downstream parts of the study reach. Prismatic objects with different shapes of rectangular, triangular and semi-circular were used as debris. (The range of relative thickness of debris ( $\frac{T_d}{D}$ ) was from 1 to 3 and the relative length of debris ( $\frac{D_d}{D}$ ) from 4 to 10). The sediment threshold velocity and the maximum velocity of experiments of this study are 0.4 and 0.2 m/s respectively which shows that, all experiments were carried out at the clear water condition.

**Results:** The results showed that by decreasing the relative distance between bridge pier and abutment ( $\frac{G}{D}$ ) from 6.66 to 3.33, the maximum scour depth at pier and abutment increased by 8.1 and 12.5%, respectively. Also, the rectangular debris caused the most scour depth in comparison with the other debris shapes. By increasing the relative thickness of the semi-cylindrical debris ( $\frac{T_d}{D}$ ) from 1 to 3, the maximum scour depth around the pier and abutment was respectively increased by 7.64 and 24.21. In addition, the experimental results showed that the effective length of debris has a significant influence on the dimensions of scour hole, so that, the maximum scour depth in the presence of semi-cylindrical debris with relative effective length ( $\frac{D_d}{D}$ ) of 10, increased by 50.8 and 58 percent compared with that of the reference test, for the bridge pier and abutment, respectively.

\* Corresponding Author; Email: kouroshqaderi@uk.ac.ir



**Conclusion:** According to the results of this study, it was found that the accumulation of debris at the upstream of bridge pier increased the local scour depth around bridge pier and abutment up to 50.8 and 58%, respectively. There was a direct relation between the scour depth and the debris thickness, so that, by doubling the relative thickness of rectangular debris, the scour depth around bridge pier and abutment was 1.2 and 1.05, respectively. With increasing the relative diameter, the scour depth increased at first, thereafter reached to a constant value. For example, for rectangular debris, by changing the relative length from 4 to 10, the scour depth around bridge pier and abutment was increased by 22.4 and 10.2%, respectively, but for larger relative lengths, no change was observed in the scour depth. In addition, by reducing the distance between pier and abutment, the maximum depth of scour hole was significantly increased compared with the reference test.

**Keywords:** Maximum scour depth, Debris, Bridge abutment, Bridge pie