

بررسی اثر شکل هندسی تکیه‌گاه پل بر آبخستگی موضعی اطراف آن در قوس رودخانه

فرهنگ امامی فرا^۱، علیرضا مسجدی*^۲ و محمد حیدرنژاد^۳

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(۲) گروه سازه‌های آبی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(۳) گروه سازه‌های آبی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: Drmasjedi.2007@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۶

چکیده

هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از پل‌ها درست زمانی که بیش‌ترین نیاز به آن‌ها وجود دارد، تخریب می‌گردند. یکی از موثرترین عوامل این تخریب‌ها آبخستگی موضعی اطراف تکیه‌گاه در قوس رودخانه می‌باشد. به منظور بررسی اثر شکل هندسی تکیه‌گاه پل در کنترل آبخستگی اطراف آن در قوس رودخانه‌ها، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه از جنس پلاکسی گلاس انجام پذیرفت. در این تحقیق با قرار دادن چهار تکیه‌گاه با اشکال نیم دایره، دوزنقه‌ای، مستطیلی لبه گرد و مستطیلی ۹۰ درجه در موقعیت ۷۰ درجه در قوس با چهار دبی مختلف در عمق ثابت پدیده آبخستگی حول تکیه‌گاه در حالت آب زلال مورد بررسی قرار گرفت. برای مصالح کف فلوم از ماسه طبیعی با دانه بندی یکنواخت با ۱/۵۹ استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد تکیه‌گاه با شکل نیم دایره و مستطیلی ۹۰ درجه به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین چاله آبخستگی در اطراف آن‌ها مشاهده شد. همچنین در کلیه تکیه‌گاه‌ها با افزایش عدد فرود، عمق آبخستگی در اطراف آن‌ها نیز افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: آبخستگی موضعی، شکل هندسی، تکیه‌گاه و قوس ۱۸۰ درجه.

مقدمه

پل‌ها از جمله مهم‌ترین سازه‌های رودخانه‌های هستند که در راه‌سازی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. یکی از موثرترین عوامل تخریب پل آبشستگی موضعی اطراف تکیه‌گاه‌ها می‌باشد. تخریب تکیه‌گاه‌ها بعلاوه آبشستگی زیان‌های سنگین اقتصادی و جانی به دنبال دارد. براساس مطالعات سازمان بزرگراه‌های ایالات متحده در سال ۱۹۷۳، از تعداد ۳۸۳ مورد خرابی در پل‌ها، ۲۵ درصد مربوط به خرابی پایه‌ها و ۷۲ درصد مربوط به خرابی تکیه‌گاه‌ها بوده است. همچنین بررسی‌های کاناداسی و ملویل در سال ۱۹۹۸، شش تا ده مورد تخریب پل در نیوزلند ناشی از آب‌شستگی در تکیه‌گاه آن‌ها بوده است (صانعی، ۱۳۸۵). تکیه‌گاه پل سازه‌هایی هستند که از طرف ساحل به داخل جریان اصلی امتداد یافته و موجب تنگ‌شدگی موضعی در داخل جریان می‌گردد. مکانیزم آبشستگی 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 بالادست تکیه‌گاه پل ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی تکیه‌گاه از بالا به پایین به وجود 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 (Ciew *et al.*, 1987). 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 آبشستگی، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند (Raudkivi, 1986). 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 گرداب ذرات بستر را جدا کرده و در معرض جریان قرار می‌دهند و به انتقال ذرات در اطراف تکیه‌گاه به سمت پایین دست کمک می‌کنند. حفره گودال آبشستگی توسط گرداب نعل اسبی آنقدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبشستگی زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. در این حالت عمق آبشستگی به حالت تعادل می‌رسد (Raudkivi, 1986). به منظور تخمین عمق آبشستگی در تکیه‌گاه‌ها روابط نیمه تجربی توسط محققین ارائه شده است. (رابطه ۱) را برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی در تکیه‌گاه پل ارائه نمود (نشریه شماره ۵۴۹):

$$y_s + y_1 = 2.32 \left(\frac{q^{2/3}}{b} \right)^{0.78} \quad \text{رابطه ۱:}$$

در (رابطه ۱)، b : عرض تکیه‌گاه بر حسب متر، y_1 : عمق جریان بالادست تکیه‌گاه بر حسب متر، q : دبی واحد عرض در بالا دست تکیه‌گاه (m^2/s) ، y_s : حداکثر عمق آبشستگی بر حسب متر. براساس تجزیه آزمایش‌های متعدد، (رابطه ۲) را برای تخمین عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه بدست آوردند (نشریه شماره ۵۴۹):

$$y_s + y = K_A K'_A [q/(1-m)]^{2/3} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در (رابطه ۲)، q : دبی بالادست در واحد عرض (m^2/s) ، b/B ، b : عرض تکیه‌گاه و B : عرض رودخانه، K'_A : $2.14g^{-1/3} (1m^{-1/3} s^{2/3})$ و $g = 9.81(m/s^2)$ شتاب جاذبه، K_A : ضریب تصحیح که از (رابطه ۳) و (جدول ۱) بدست می‌آید:

$$K_A = 2K_P K_S K_\theta K_\eta \quad \text{رابطه ۳:}$$

K_P : ضریب تصحیح اثر قوس آبراهه، K_S : ضریب تصحیح اثر شکل سازه، K_θ : ضریب تصحیح اثر زاویه برخورد جریان با تکیه‌گاه (زاویه تکیه‌گاه با ساحل پایین دست) و K_η : ضریب تصحیح اثر تخلخل سازه.

جدول ۱: ضرایب تصحیح

K_θ	زاویه برخورد جریان (درجه)	K_P	موقعیت سازه در قوس
۰/۸۰	۳۰	۱/۰۰	آبراهه مستقیم
۰/۹۰	۴۵	۱/۱۰	قوس خارجی
۰/۹۵	۶۰	۰/۸۵	قوس داخلی
۱/۰۰	۹۰	۱/۴۰	پایین دست قوس خارجی قوس تند
۱/۰۵	۱۲۰		
۱/۱۰	۱۵۰	۱/۱۰	

K_η	تخلخل سازه	K_S	شکل سازه
۱/۰	۲۰ درصد	۱/۰۰	تکیه‌گاه دیواره قائم
۰/۹	۵۰ درصد (با شیب $1V : 2H$)	۰/۸۵	تکیه‌گاه با دیواره شیبدار با شیب های ۴۵ درجه
۰/۶	۵۰ درصد (با شیب $1V : 3.5H$)		

رابطه روی تکیه‌گاه‌های با دیواره قائم و شیبدار (سازه های خط جریانی)، حداکثر عمق آبشستگی به صورت زیر ارائه شد (نشریه شماره ۵۴۹):

$$y_s = K_L y_1 (b/y_1)^{0.4} Fr^{1/3} \quad \text{رابطه ۴:}$$

در رابطه ۴، Fr_1 : عدد فرود بالادست $(Fr = u/\sqrt{gy_1})$ ، u : سرعت متوسط جریان در بالادست (m/s) و K_L : ضریبی ثابت است (برای تکیه‌گاه‌های خط جریانی ۱/۱ و برای تکیه‌گاه‌های دماغه تیز ۲/۱۵).

مسجدی و مرادی (۱۳۸۸) بر روی آبشستگی در اطراف آبشکن در قوس ۱۸۰ درجه تحقیقاتی انجام دادند و نتیجه گرفتند که حداکثر آبشستگی در نزدیکی دماغه و بالادست آبشکن اتفاق می افتد. با قرار دادن آبشکن در موقعیت های مختلف با دبی های ۲۰، ۲۴ و ۲۶ لیتر بر ثانیه به این نتیجه رسیدند که حداکثر عمق آبشستگی در نیمه اول قوس (صفر تا ۹۰ درجه) کمتر از نیمه دوم قوس (۹۰ تا ۱۸۰ درجه) می باشد. همچنین ابعاد چاله آبشستگی نیز همانند عمق آبشستگی با جابجایی آبشکن از نیمه اول به نیمه دوم قوس افزایش می یابد. با توجه به اینکه اکثر محققان پیشین به بررسی آبشستگی اطراف تکیه گاه در مسیر مستقیم پرداخته اند و در خصوص پدیده آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه مطالعات کمی انجام گرفته است و همچنین بدلیل متفاوت بودن الگوی جریان در مسیرهای مستقیم و غیر مستقیم، در این تحقیق اقدام به بررسی اثر شکل هندسی تکیه گاه پل بر عمق آبشستگی اطراف آن در مسیر قوسی شد. طبق تحقیقات آزمایشگاهی صفرزاده (۱۳۹۱) در نیمه اول قوس ۱۸۰ درجه و در موقعیت ۶۰ تا ۷۰ درجه بیشترین جریان های ثانویه ایجاد می شود. لذا در این تحقیق با استفاده از اشکال مختلف تکیه گاه با هدف کنترل آبشستگی در اطراف آن در نیمه اول و در موقعیت ۷۰ درجه در قوس، آزمایش هایی انجام شد.

مواد و روش ها

با در نظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال رابطه ذیل بین پارامترهای موثر بر عمق آبشستگی در حالت تعادل برقرار است:

$$f1(ds, y, L, B, V, \alpha, g, \rho_s, S_0, D_{50}, \lambda) = 0 \quad \text{رابطه ۵:}$$

در (رابطه ۵) ds عمق آبشستگی، y عمق جریان آب، L طول تکیه گاه در عرض کانال، B عرض مجرا، V سرعت جریان، α زاویه بال تکیه گاه، g شتاب ثقل، ρ_s جرم مخصوص رسوبات، S_0 شیب طولی کف مجرا، D_{50} قطر متوسط رسوبات و λ نمایانگر شکل هندسی تکیه گاه می باشد. با صرف نظر کردن از پارامترهای ثابت در (رابطه ۵)، رابطه زیر بدست می آید:

$$f1(ds, y, V, g, \lambda) = 0 \quad \text{رابطه ۶:}$$

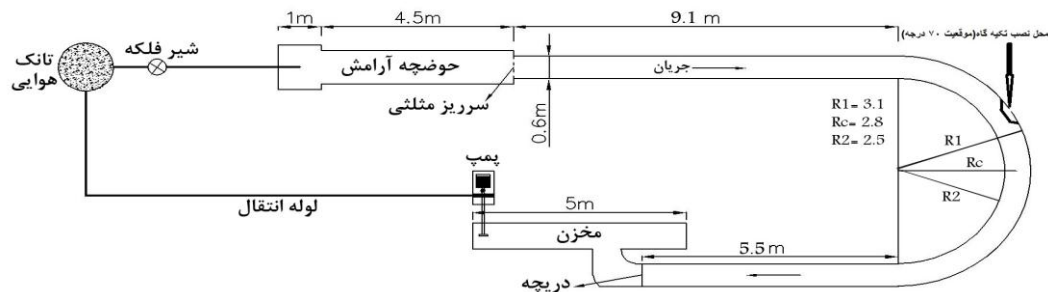
با استفاده از تئوری باکینگهام (رابطه ۶) به صورت زیر بدون بعد می شود:

$$\frac{ds}{y} = f2\left(\frac{gy}{V^2}, \lambda\right) \quad \text{رابطه ۷:}$$

و یا:

$$\frac{ds}{y} = f2(Fr, \lambda) \quad \text{رابطه ۸:}$$

در رابطه (۴) ds/y عمق آبشستگی بدون بعد و Fr عدد فرود می باشد. در کلیه آزمایش ها با توجه به آشفستگی جریان در اطراف تکیه‌گاه، جریان از نوع متلاطم بوده و عدد رینولدز حذف شد. به منظور بررسی پدیده آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل در قوس رودخانه، یک مدل فیزیکی تهیه شد. آزمایش ها در یک فلوم از جنس پلاستیکی گلاس قوسی شکل با زاویه مرکزی 180° درجه، شعاع مرکزی $R = 2/8 m$ و عرض $B = 0/5 m$ انجام شد. انحنای نسبی قوس $R/B = 5/6$ بوده که قوس را در رده قوس های ملایم قرار می دهد. کانال مستقیم ورودی به طول $9/1$ متر به یک کانال با قوس 180° درجه متصل می شود. این کانال قوسی شکل توسط کانال مستقیم دیگری به طول $5/5$ متر به دریچه کنترل عمق جریان و سپس مخزن خروجی متصل می شود (شکل ۱).



شکل ۱: پلان کانال قوسی شکل

طبق توصیه های چیو و ملویل درصد تنگ شدگی بین 10° تا 20° درصد در عرض کانال در نظر گرفته شود. لذا تکیه‌گاه با درصد انسداد 20° درصد با چهار شکل هندسی تکیه‌گاه مستطیلی 90° درجه، تکیه‌گاه با دیواره عمودی بالدار زاویه بال 60° درجه، نیم دایره و مستطیلی لبه گرد با ارتفاع 50 سانتی متر از جنس پلاستیکی گلاس استفاده شد (Ciew et al., 1987). تک تکیه‌گاه‌ها بطور جداگانه در موقعیت 70° درجه در دیواره خارجی فلوم نصب شدند. در تمامی آزمایش ها عدد فرود $0/24$ ، $0/28$ ، $0/34$ و $0/40$ و عمق جریان 10 سانتی متر به گونه ای انتخاب شد که آبشستگی عمومی در طول کانال وجود نداشته باشد. به توصیه راودکیوی و اتما برای جلوگیری از تشکیل ریپل قطر متوسط ذرات باید از $0/7$ میلی متر بزرگتر باشد. همچنین برای حذف تاثیر غیر یکنواختی رسوبات بر آبشستگی، انحراف معیار ذرات باید کمتر از $1/3$ باشد. با توجه به این موارد یک لایه از ماسه طبیعی رودخانه ای با قطر متوسط معادل $1/59$ میلی متر و ضریب انحراف استاندارد معادل $1/29$ انتخاب و در لایه ای به ضخامت تقریبی 15 سانتی متر جهت انجام آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفت (Raudkivi, 1986). طبق توصیه Hager و Oliveto (۲۰۰۲) برای جلوگیری از اثرات زبری عمق آب را بیشتر از 20 میلی متر پیشنهاد نموده‌اند که در کلیه آزمایش ها عمق آب ثابت و برابر 10 سانتی متر در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست

تکیه‌گاه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی ($u < u_c$) باشد. در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی ۰/۹۳ بود که سرعت برشی بحرانی بر اساس پارامتر بحرانی شیلدز بدست آمد. به منظور بررسی تاثیر دبی بر آبشستگی، چهار دبی برای آزمایش بر روی تکیه‌گاه در شرایط زیر بحرانی در نظر گرفته شد که توسط سرریز مثلی ۶۰ درجه در ابتدای ورودی فلوم اندازه‌گیری شدند. در ابتدای هر آزمایش با استفاده از ارابه متحرک، بستر کانال تحت شیب ثابت مسطح شد. سپس تک تکیه‌گاه بطور مجزا در موقعیت ۷۰ درجه در قوس خارجی نصب شد. پیش از راه اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریپل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. مدت زمان اشباع بستر کانال بین ۲۰ تا ۳۰ دقیقه بود. پس از بالا آمدن سطح آب و اطمینان از خیس 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 تنظیم شد. سپس با تنظیم دقیق و همزمان شیرفلکه و دریچه پائین دست عمق جریان ۱۰ سانتی متر و دبی مورد نظر حاصل شد. پس از گذشت ۶ ساعت که زمان تعادل رسوبات در اطراف تکیه‌گاه محسوب می‌شد، پمپ خاموش و دریچه‌ی انتهایی بسته شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شد. سپس برای برداشت توپوگرافی در لبه جلویی تکیه‌گاه‌ها در جهت طولی، از یک دستگاه عمق سنج با دقت میلیمتری جهت اندازه‌گیری و برداشت پروفیل بستر استفاده شد. این دستگاه بر روی ریل‌های کنار کانال در جهت طولی و عرضی قادر به حرکت و برداشت بود.

نتایج و بحث

در همه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در دماغه تکیه‌گاه گردابه‌ها تشکیل و پروسه آبشستگی با سرعت بسیار بالا آغاز شد. با شکل‌گیری حفره آبشستگی رسوبات برخاسته از حفره به سمت پائین دست منتقل شدند. پس از مدتی از شروع آزمایش، رسوبات برخاسته از حفره آبشستگی به محدوده‌ای می‌رسند که تاثیر تکیه‌گاه بر آن محدوده کاهش یافته است و اثر گردابه‌های پشت تکیه‌گاه ناچیز می‌شود. در این وضعیت رسوبات انتقالی از حفره آبشستگی تحت تاثیر جریان ثانویه به سمت جداره داخلی منتقل گشته و تعداد دو و یا بیشتر شیار کوچک در جداره داخلی تشکیل می‌شود. همچنین در همین محدوده در جداره خارجی قوس بسته به شرایط هیدرولیکی جریان، رسوبگذاری با حداقل آبشستگی ایجاد می‌شود. بدلیل وجود تکیه‌گاه، بخشی از جریان منحرف شده و با سرعت بیشتری به سمت قوس داخلی حرکت می‌نماید و ضمن حرکت سریع شیارها سبب می‌شود که آن‌ها بر هم سوار شده و یک توده رسوبی را بوجود آورند. حداکثر ارتفاع این توده رسوبی در غالب آزمایش‌ها در جداره داخلی و در پائین دست خروجی قوس بوقوع می‌پیوندد. در اثر جریان منحرف شده توسط تکیه‌گاه فروافتادگی در بالادست تکیه‌گاه ایجاد می‌شود که در

کلیه آزمایشهای انجام شده فروافتادگی مذکور مشاهده می‌شود. لیکن ابعاد آن برای زوایای مختلف بال تکیه‌گاه متفاوت است. این فروافتادگی در پائین دست تکیه‌گاه گاهی در جداره داخلی برخورد نموده و منجر به وقوع آبشستگی در جداره قوس می‌شود و گاهی این برخورد صورت نگرفته که در این صورت آبشستگی فوق‌الذکر ایجاد نشده و رسوبگذاری واقع می‌شود. بدیهی است پارامترهای اثر گذار بر ابعاد این فروافتادگی ایجاد شده، شکل هندسی تکیه‌گاه در قوس و دبی جریان می‌باشد.

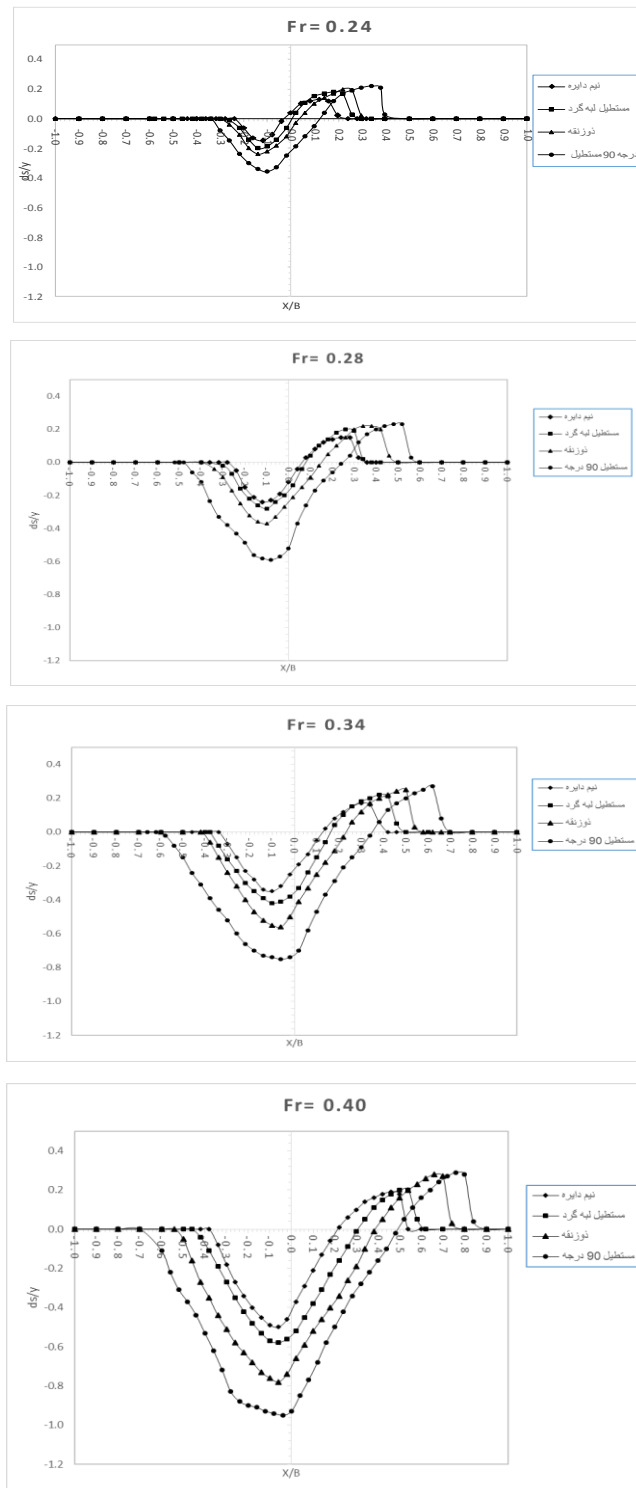


شکل ۲: آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه

تاثیر شکل هندسی بر عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل

شکل ۳ پروفیل طولی بدون بعد حفره آبشستگی در امتداد انتهایی تکیه‌گاه در چهار شکل هندسی تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه، تکیه‌گاه با دیواره عمودی بالدار با زاویه بال ۶۰ درجه (دوزنقه)، نیم دایره و مستطیلی لبه گرد را برای چهار عدد فرود ۰/۲۴، ۰/۲۸، ۰/۳۴ و ۰/۴۰ لیتر در ثانیه نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد، شکل هندسی تکیه‌گاه باعث تغییر در الگوی جریان و کاهش چاله آبشستگی در مقایسه با تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه می‌شود و با تغییر شکل هندسی تکیه‌گاه از حالت نیم دایره به تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه چاله آبشستگی افزایش و رسوبگذاری در پائین دست تکیه‌گاه افزایش می‌یابد. بطوریکه در تکیه‌گاه نیم دایره کمترین ابعاد چاله و در تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه بیش‌ترین چاله تشکیل می‌شود. نتایج تحقیقات محققان نشان می‌دهد علت اصلی آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه، ایجاد جریان‌های

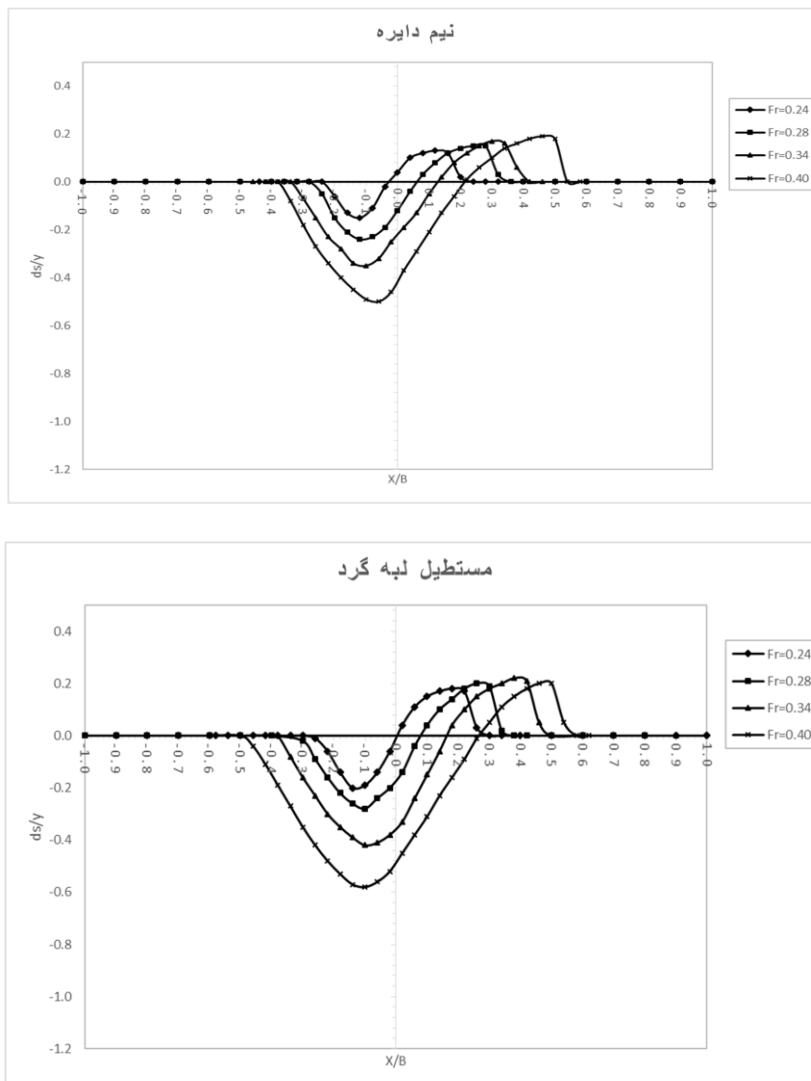
ثانویه بوده که در تکیه‌گاه نیم دایره بدلیل همسو شدن شکل هندسی آن با جهت جریان، قدرت جریان‌های ثانویه نسبت به شکل‌های دیگر تکیه‌گاه ضعیف‌تر و در نتیجه ابعاد چاله آبشستگی نسبت به تکیه‌گاه‌ها کوچکتر تشکیل شده است.



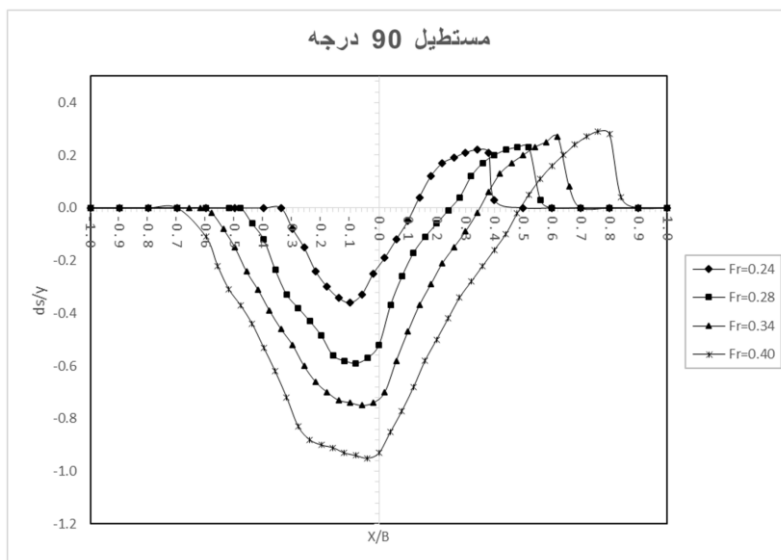
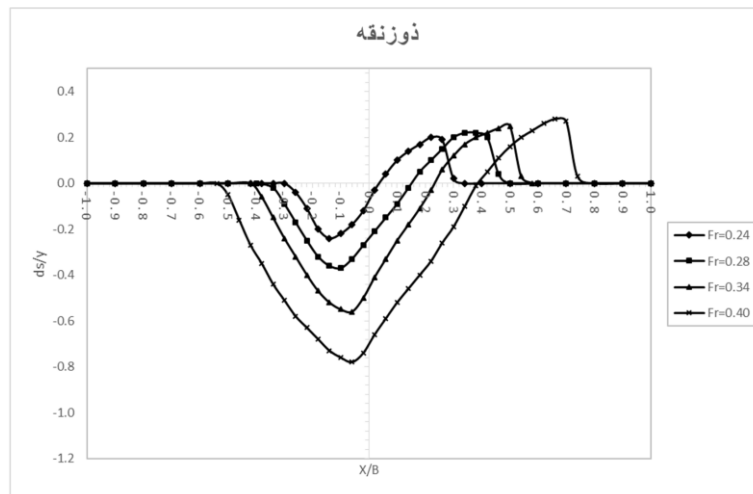
شکل ۳: پروفیل طولی چاله آبشستگی در اشکال هندسی تکیه‌گاه

تأثیر عدد فرود بر عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل

شکل ۴ پروفیل طولی بدون بعد حفره آبشستگی در امتداد انتهایی تکیه‌گاه در چهار شکل هندسی تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه، تکیه‌گاه با دیواره عمودی بالدار با زاویه بال ۶۰ درجه (دوزنقه)، نیم‌دایره و مستطیلی لبه گرد را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد، با افزایش عدد فرود، ابعاد چاله آبشستگی در امتداد جریان و در دماغه جلویی تکیه‌گاه در هر چهار نوع تکیه‌گاه با اشکال هندسی مختلف، افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش عدد فرود، پیشروی تغییرات رسوبات بستر در جهت طولی و در جهت جریان به سمت پایین دست افزایش می‌یابد. با توجه به ثابت بودن عمق جریان، با افزایش عدد فرود، سرعت جریان بالا رفته در نتیجه باعث افزایش قدرت گردابه‌های اطراف دیواره تکیه‌گاه و میزان آبشستگی در اطراف آن می‌شود.



شکل ۴: پروفیل طولی چاله آبشستگی در اعداد فرود مختلف



ادامه شکل ۴: پروفیل طولی چاله آبشستگی در اعداد فرود مختلف

نتیجه‌گیری

در این تحقیق آزمایش‌ها جهت تعیین اثر شکل هندسی تکیه‌گاه پل بر عمق آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه در چهار دبی و چهار شکل هندسی تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه، تکیه‌گاه با دیواره عمودی بالدار با زاویه بال ۶۰ درجه، نیم دایره و مستطیلی لبه گرد انجام گرفت. متغیرهای موثر در این تحقیق شکل هندسی تکیه‌گاه و عدد فرود بود. نتایج این تحقیق به این صورت بیان می‌شود: ۱- حداکثر عمق آبشستگی در کلیه تکیه‌گاه‌ها در بالادست تکیه‌گاه و در نزدیکی دماغه تکیه‌گاه مشاهده می‌شود. ۲- در کلیه حالت‌ها ایجاد کمترین آبشستگی در تکیه‌گاه نیم دایره اتفاق می‌افتد. ۳- با افزایش عدد فرود در کلیه حالات، ابعاد چاله آبشستگی و پیشروی رسوبگذاری بستر در جهت طولی و در جهت جریان به سمت پایین دست افزایش می‌یابد. ۴- با افزایش عدد فرود سرعت جریان افزایش و عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. ۵- کاهش

آبشستگی در تکیه‌گاه نیم دایره و افزایش آبشستگی در تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه مشاهده شد. بعبارت دیگر شکل هندسی نیم دایره باعث پراکنده سازی و تضعیف عملکرد گرداب های ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه می‌شوند.

سپاسگزاری

از مساعدت مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به منظور قرار دادن امکانات، تسهیلات و کمک‌های مالی در این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- صانعی، م. (۱۳۸۵). بررسی آزمایشگاهی اثر درصد انسداد در آبشستگی موضعی آب شکن ها، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- صفرزاده گندشمین، ا. (۱۳۸۳). شبیه سازی الگوی جریان در آبیگری جانبی از قوس ۱۸۰ درجه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- مسجدی، ع. و مرادی، ا. (۱۳۸۸). بررسی آزمایشگاهی اثر موقعیت تک آبشکن بر عمق آبشستگی اطراف آن در خم ۱۸۰ درجه، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۳، شماره ۵۰، زمستان ۱۳۸۸.
- نشریه شماره ۵۴۹. (۱۳۹۰). راهنمای روش های محاسبه آبشستگی موضعی، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور.

Breusers H. N. C., Nicollet G., Shen H. W. (1977). Local scour around cylindrical piers. Journal of Hydraulic Research, IAHR, 15, 3, pp: 211-252.

Chiew, Y. M., Melville, B.W. (1987). Local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Research, 25, 1 pp: 15-26 .

Oliveto, G., Hager W. H. (2002). Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 128, 9, pp: 811-820.

Raudkivi, A. J. (1986). Functional trends of scour at bridge. Journal of Hydraulic Engineering, 112, 1, pp:1-13.

Raudkivi, A. J., Ettema, R. (1983). Clear-water scour at cylindrical piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 109, 3, pp: 338-350 .