



بررسی آزمایشگاهی تاثیر موقعیت پایه روی آبستگی موضعی اطراف پایه پل در قوس ۹۰ درجه ملایم

سید ساسان کاتورانی^۱، رسول قبادیان^۲، مسعود قدسیان^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۰

مقاله پژوهشی

چکیده

پل‌ها از جمله مهمترین و پرکاربردترین سازه‌های رودخانه‌ای هستند که هر ساله با وقوع سیلاب تعداد زیادی از آنها تخریب می‌شوند. آبستگی موضعی اطراف پایه‌های پل از جمله عوامل موثر در این تخریب‌ها است. در این تحقیق برای بررسی عمق آبستگی در اطراف پایه پل در قوس رودخانه، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۹۰ درجه با نسبت $Rc/B = 3/7$ و از جنس پلاکسی گلاس و فولاد انجام پذیرفت. بدین منظور با قرار دادن یک پایه استوانه‌ای به قطر ۴۵ میلی‌متر در زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در طول قوس پدیده آبستگی حول پایه در حالت آب زلال و ۳ عدد فرود جریان بررسی شد. برای مصالح کف فلوم از ماسه طبیعی با قطر متوسط ۰/۸۵ میلی‌متر استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که حداکثر عمق آبستگی هنگام نصب پایه استوانه‌ای در طول قوس متفاوت بوده و با افزایش دبی جریان در کلیه موقعیت‌ها، عمق و حجم چاله آبستگی نیز افزایش می‌یابد. همچنین حداکثر عمق و حجم آبستگی در نیمه دوم خم در زاویه ۶۰ درجه و حداقل عمق و حجم آبستگی در میانه خم در زاویه ۴۵ درجه رخ می‌دهد. در نهایت مشاهده گردید که توسعه پشته رسوبی بعد از پایه و میزان گسترش آن در نیمه اول خم بیشتر از نیمه دوم آن بود. علاوه بر این نتایج این تحقیق نشان داد حداکثر و حداقل مقدار عمق آبستگی نسبت به قطر پایه به ترتیب برابر با ۲/۲۴ و ۱/۲۲ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبستگی موضعی، پایه پل، موقعیت پایه، قوس ۹۰ درجه ملایم.

۱- دانشجوی دکتری، سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، 09183727950 - skatourany@gmail.com

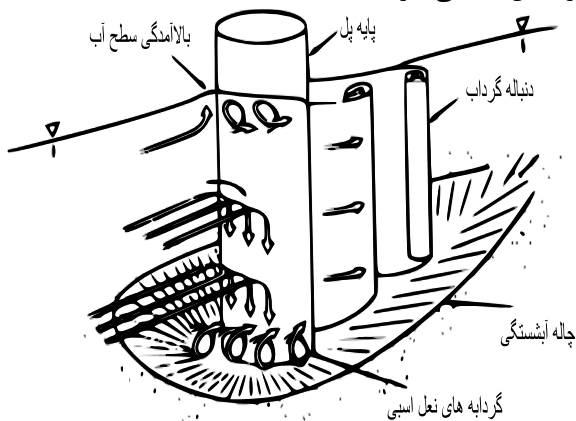
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، 09188332489، r_ghobadian@razi.ac.ir (نویسنده مسئول)

۳- استاد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، ghods@modares.ac.ir



مقدمه

رسوب‌گذاری است. از آنجا که رودخانه‌های طبیعی به ندرت در مسیری مستقیم جریان دارند و معمولاً در الگوی نامنظم مسیر خود را طی می‌کنند، لذا مطالعه جریان و رسوب در کانال‌های خمیده و قوسی شکل در بررسی ریخت‌شناسی رودخانه‌ها همواره از اهمیت زیادی برخوردار بوده است. مشخصه اصلی جریان در کانال‌های باز قوسی شکل، جریان ثانویه قوی‌ای است. در خم‌های رودخانه، اثر متقابل شیب فشار عرضی و نیروی گریز از مرکز جریان‌های ثانویه را تشکیل می‌دهد. وجود جریان‌های ثانویه در خم رودخانه حرکت مواد رسوبی از خم بیرونی به خم داخلی را به همراه دارد. بر اثر اندرکنش جریان ثانویه با پروفیل غیر یکنواخت سرعت طولی، الگوی جریان خاصی به نام جریان حلزونی تشکیل می‌شود که باعث تغییرات زیادی نسبت به جریان در کانال مستقیم می‌شود. این جریان حلزونی اصلی‌ترین نقش را در شکل‌گیری و توسعه تغییرات تراز بستر و نیز چگونگی توزیع تنش برشی در کف کانال ایفا می‌کند. مسیر حرکت ذرات سیال و رسوب بستر به قدرت جریان حلزونی در کانال بستگی دارد.



شکل (۱): الگوی جریان و حفره آبشستگی موضعی اطراف یک پایه پل استوانه‌ای

(Rozovski., 1957) جزء اولین محققانی است که در زمینه شرایط هیدرولیکی جریان در انحنای آبراهه‌ها و تاثیر شعاع انحنا و عرض رودخانه و زاویه قوس بر الگوی جریان آشفته در قوس بطور کامل مطالعاتی را انجام داده است. او آزمایش‌های خود را بر روی قوس 180° درجه تند ($R_c/B = 1$)، شعاع قوس مرکزی کانال و B عرض کانال) با بستر صلب انجام داد و در آن به برداشت پروفیل سرعت در میدان و نیز الگوی تغییرات سطح آب در کانال در دو حالت کانال

پل‌ها از جمله مهمترین و پرکاربردترین سازه‌های رودخانه‌ای می‌باشند 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 می‌شوند. یکی از موثرترین عوامل این تخریب‌ها آبشستگی موضعی اطراف پایه‌ها در رودخانه است. براساس مطالعات انجام گرفته دو عامل مهم باعث فرسایش در اطراف پایه پل می‌شود، یکی برخورد جریان پایه و دیگری جدا شدن جریان از پایه. در اثر برخورد جریان به پایه گرداب‌های نعل اسبی شکل می‌گیرد. به اعتقاد محققین گرداب نعل اسبی اساسی‌ترین نقش را در فرآیند آبشستگی ایفا می‌نماید. 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 زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک خواهد کرد. در این حالت عمق آبشستگی به حالت تعادل می‌رسد (Raudkivi et al., 1983). شکل (۱) نمونه‌ای از جریان آشفته و گرداب‌هایی را که باعث آبشستگی موضعی و حفره می‌گردند، نشان می‌دهد. (Raudkivi., 1998)، (Chiew et al., 1987)، (Dargahi., 1987)، (Breusers et al., 1991)، (Oliveto et al., 2002) و (Melville et al., 1999) تحقیقاتی درباره آبشستگی پایه پل در آبراهه مستقیم انجام داده‌اند.

الگوی غالب برای شکل رودخانه‌ها به عنوان سیستم‌های طبیعی در پلان پیچانرودی می‌باشد. ساختار جریان در پیچانرودها پیچیده‌تر از رودخانه‌های با مسیر مستقیم است. فرآیند جریان در رودخانه‌های طبیعی، یکی از پیچیده‌ترین و ناشناخته‌ترین پدیده‌های موجود در طبیعت است. مکانیسم فرآیند آبشستگی و هیدرودینامیک جریان اطراف پایه‌های پل در یک خم رودخانه از نظر مهندسی و محققان در زمینه مکانیک سیال محیط زیست و اکولوژی بسیار مهم است (Vijayasree et al., 2019). جریان در رودخانه‌ها از نوع آشفته و کاملاً سه بعدی بوده و در عین حال رودخانه در بستری کاملاً نامنظم جریان دارد که همواره در معرض تغییرات ناشی از فرآیند آبشستگی و

Lagasse & Richardson., 1983) و (Ettema., 2001) پدیده آبشستگی در اطراف پایه تحت تاثیر عواملی از جمله هندسه مجرا، دبی جریان، عمق جریان، قطر پایه، شتاب ثقل، خصوصیات مصالح بستر، زاویه قرارگیری پایه نسبت به جریان، شکل پایه و خواص سیال قرار دارد. (مسجدی و همکاران، ۱۳۹۰) به بررسی عمق آبشستگی در اطراف پایه پل در قوس رودخانه پرداختند. آنها آزمایش‌هایی را در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه با $Rc/B = 4.7$ و از جنس پلاکسی گلاس انجام دادند، در این تحقیق بدین منظور با قرار دادن یک پایه استوانه‌ای به قطر ۶ سانتی‌متر در فلوم با ۴ دبی و عمق ثابت ۱۲ سانتی‌متر پدیده آبشستگی حول پایه در حالت آب زلال بررسی شد. برای مصالح کف فلوم از ماسه طبیعی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی هنگام نصب پایه استوانه‌ای در طول قوس متفاوت بوده و در موقعیت ۶۰ درجه بیشترین آبشستگی در اطراف پایه ایجاد می‌شود. همچنین با افزایش دبی جریان در کلیه موقعیت‌ها، عمق آبشستگی نیز افزایش یافت.

همانطور که در پیشینه موضوع بررسی شد تا کنون تحقیقاتی در خصوص فرسایش کلی در قوس ۹۰ درجه انجام شده است با این وجود بر روی فرسایش موضعی پایه پل در قوس ۹۰ درجه تحقیقی انجام نشده است که در این مطالعه با استفاده از مدل آزمایشگاهی بدین موضوع پرداخته است. در این تحقیق، تأثیر موقعیت پایه در زوایای مختلف قوس ۹۰ درجه ملایم بر آبشستگی موضعی اطراف پایه پل استوانه‌ای تحت شرایط آب زلال، به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

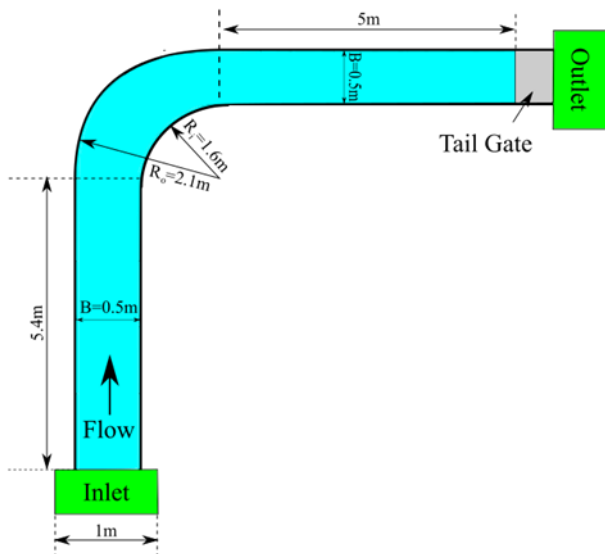
آنالیز ابعادی

پارامترهای مهم و موثر بر پدیده آبشستگی در محل پایه پل در قوس ۹۰ درجه را می‌توان در شش قسمت معرفی کرد، که عبارتند از خصوصیات سیال، خصوصیات مصالح بستر، خصوصیات هندسه مجرا، هندسه پایه پل و موقعیت آن در قوس، شرایط جریان ورودی و زمان. در این تحقیق دانه بندی رسوب یکنواخت بود، همه آزمایش‌ها تا رسیدن به زمان تعادل ادامه یافت و در همه آنها شرایط آب زلال

با بستر زبر و کانال با بستر صاف پرداخت. وی در ادامه تحقیقات با انجام مطالعات نظری دقیق، نهایتاً به ارائه یک مدل تحلیلی دو بعدی برای بررسی الگوی جریان در قوس‌های مختلف پرداخت. (Mosonyi & Götz., 1973) اولین کسانی بودند که توجه ویژه‌ای به توزیع قدرت جریان حلزونی و نحوه تغییرات آن در طول کانال معطوف کردند. ایشان همچنین برای اولین بار وجود چرخه دوم جریان ثانویه در نزدیکی قوس داخلی را گزارش کرده‌اند. بنا به گزارش آنها، این چرخه تنها در نسبت‌های $B/h < 10$ (عرض کانال و h عمق آب در کانال) اتفاق می‌افتد. (Odgaard & Bergs., 1988) به بررسی آزمایشگاهی توپوگرافی بستر در قوس ۱۸۰ درجه با بستر متحرک پرداختند. آنان با ارائه تغییرات تراز بستر پس از زمان تعادل، به وجود یک پشته رسوبی در امتداد دیواره داخلی و دو حفره آبشستگی در امتداد دیواره خارجی کانال اشاره کرده‌اند. آنان الگوی فرسایش را در طول کانال دارای رفتار نوسانی عنوان کرده و محل وقوع حداکثر آبشستگی را در نزدیکی جدار بیرونی، واقع در مقطع عرضی ۵۵ درجه گزارش کرده‌اند. (صالحی نیشابوری و اقبال‌زاده، ۱۳۸۱) با انجام آزمایش‌های مختلف، به بررسی تغییرات بستر در قوس ۱۸۰ درجه پرداختند. ایشان هدف اصلی تحقیق خود را بررسی تاثیر حفره‌های ناشی از برداشت ماسه در بستر کانال دارای مسیرهای انحنادار ۱۸۰ درجه عنوان کرده‌اند. (Ippen & Drinker., 1962) توزیع سرعت در قوس منظم و با مقطع دوزنقه‌ای را بررسی کردند. مشاهدات آنها نشان داد که حداکثر سرعت با توجه به مشخصه‌های مدل فیزیکی آنها در کناره داخلی ورودی رخ می‌دهد و سپس توزیع سرعت در عمق به سمت یکنواخت شدن میل می‌کند و در زاویه ۶۰ درجه سرعت حداکثر به طرف قوس خارجی حرکت می‌کند. (امامی و همکاران، ۱۳۸۵) آزمایش‌هایی روی آبشستگی اطراف پایه استوانه‌ای درون قوس ۱۸۰ درجه در حالت آب زلال انجام دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد با افزایش دبی عمق حداکثر آبشستگی در زمان تعادل و نیز ابعاد حفره افزایش می‌یابد. همچنین پشته حاصل از آبشستگی در اثر افزایش دبی گسترده‌تر شده و به دیواره خارجی نزدیک‌تر می‌شود. براساس مطالعات انجام شده توسط (Richardson & Davies., 1995) ، (Raudkivi)

مدل آزمایشگاهی

پس از آنالیز ابعادی و شناسایی پارامترهای مهم تاثیر گذار بر الگوی آبستگي موضعی اطراف پایه پل استوانه‌ای در قوس ۹۰ درجه، فلوم آزمایشگاهی با قوس ۹۰ درجه در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه رازی ساخته شد. آزمایش‌ها در این فلوم قوسی شکل که از جنس پلکسی گلاس و قاب فولادی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه، شعاع مرکزی $R_c = 1.85 \text{ m}$ و عرض $B = 0.5 \text{ m}$ می باشد، انجام شد. انحنای نسبی قوس $R_c/B = 3.7$ بوده که قوس را در رده قوس‌های ملایم قرار می‌دهد. کانال مستقیم ورودی به طول ۵/۴ متر به یک کانال با قوس ۹۰ درجه متصل می‌گردد. این کانال قوسی شکل توسط کانال مستقیم دیگری به طول ۵ متر به دریچه کنترل عمق جریان و سپس مخزن خروجی متصل شد (شکل ۲).



شکل (۲): طرح شماتیک فلوم ۹۰ درجه ساخته شده

در کلیه آزمایش‌ها برای از بین رفتن تاثیر دیواره‌های کانال بر آبستگي موضعی، طبق توصیه‌های (Chiew & Melville., 1987) قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد.

همچنین (Raudkivi & Ettema., 1983) پیشنهاد کردند که نسبت قطر پایه به عرض کانال باید حداقل ۶/۲۵ باشد. بنابراین برای مدل کردن پایه، استوانه‌ای به قطر ۴۵ میلی‌متر از جنس پلاستیک مورد استفاده قرار گرفت. به توصیه (Raudkivi & Ettema., 1983) برای جلوگیری

حاکم بود بنابراین از پارامترهای زمان، سرعت بحرانی و انحراف معیار هندسی صرف نظر شد. بنابراین می‌توان عمق آبستگي در محل پایه پل در قوس ۹۰ درجه را می‌توان به صورت تابعی از پارامترهای زیر نوشت:

$$d_s = f \left(\mu, \rho, g, V, \gamma, \rho_s, d_{50}, n_b, \theta_1, \theta_2, B, \frac{R_c}{B}, D, Sh \right) \quad (1)$$

که در آن، d_s ماکزیمم عمق آبستگي، μ لزجت دینامیکی آب، ρ جرم واحد حجم آب، g شتاب گرانش، V سرعت جریان در بالادست قوس، γ عمق جریان در بالادست قوس، ρ_s جرم واحد حجم رسوبات، d_{50} قطر متوسط ذرات رسوب، n_b زبری بستر کانال، $\theta_1 = 90^\circ$ زاویه مرکزی قوس که ثابت است، θ_2 موقعیت قرارگیری پایه پل در قوس، B عرض کانال، $\frac{R_c}{B}$ نسبت شعاع انحنای مرکزی به عرض مقطع که مقداری ثابت است، D قطر پایه پل استوانه‌ای و Sh فاکتور شکل پایه می‌باشد. با استفاده از آنالیز ابعادی و تئوری باکینگهام ارتباط بین گروه‌های بدون بعد بصورت معادله زیر بدست خواهد آمد:

$$\frac{d_s}{B} = f \left(\frac{\mu}{\rho B V}, \frac{g B}{V^2}, \frac{\gamma}{\rho}, \frac{d_{50}}{B}, \frac{V n_b}{B^{2/3}}, \theta_1, \theta_2, \frac{R_c}{B}, \frac{D}{B}, Sh \right) \quad (2)$$

متغیرهای تکراری مورد استفاده طبق جدول (۱) می‌باشند:

جدول (۱): متغیرهای تکراری در آنالیز ابعادی

مشخصه متغیر	واحد	متغیر
مشخصه طول	L	عرض کانال (B)
مشخصه جریان	LT^{-1}	سرعت جریان (V)
مشخصه سیال	ML^{-3}	جرم واحد حجم (ρ)

با توجه به اینکه پارامترهای μ ، ρ ، ρ_s ، d_{50} ، n_b ، R_c ، B ، D و θ_1 و Sh در آزمایش‌ها ثابت می‌باشند با ادغام برخی پارامترهای بدون بعد در یکدیگر و همچنین ارضا شرایط جریان آشفته با بستر زبر) عدد رینولدز بین ۱۴۹۸۰-۲۶۸۲۰) رابطه کلی بدون بعد بصورت ذیل حاصل می‌شود:

$$\frac{d_s}{B} = f(Fr, \theta_2) \quad (3)$$

که θ_2 موقعیت قرارگیری پایه پل در قوس و Fr عدد فرود جریان می‌باشد.

جدول (۲): ضرایب a, m در رابطه ۴ (به نقل از شفاعی بجستان، ۱۳۷۸)

سرعت بحرانی محاسبه شده) (m/s)	m	a	محقق
۰/۳۸ - ۰/۳۷	۰/۱۶۷	۱/۴۹	استراب (۱۹۵۳)
۰/۳ - ۰/۲۹	۰/۱	۱/۵۸	نیل (۱۹۶۸)
۰/۳۱ - ۰/۳	۰/۰۹۵	۱/۷	بوگاردی (۱۹۶۸)
۰/۲۶	۰	۲/۲	شفاعی بجستان (۱۹۹۰)

با توجه به مقادیر سرعت بحرانی بدست آمده توسط روابط مختلف برای شرایط آزمایش های ارایه شده در این تحقیق شده که در جدول (۲) آمده است نهایتاً سرعت بحرانی ۰/۳ متر بر ثانیه برای آستانه حرکت ذرات رسوب در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت. هر چند که آستانه حرکت در رسوب در مجاری قوسی می تواند با توجه به شرایط هیدرولیکی و هندسی مجرا خیلی متفاوت با مجاری مستقیم باشد که خود نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

مقادیر سرعت جریان در آزمایش های انجام شده در تحقیق حاضر کمتر بین ۰/۲ تا ۰/۲۸ می باشد که از مقدار سرعت بحرانی مورد نظر ۰/۳ کمتر می باشد. علاوه بر این مشاهدات بصری در طول آزمایش نیز نشان داد شرایط فرسایش کلی قبل از پایه پل در فلوم آزمایشگاهی رخ نداد و آبشستگی اندازه گیری شده در آزمایش ها به آبشستگی موضعی محدود گردید.

مراحل آزمایش

در مرحله اول، به منظور کالیبره کردن مدل و برقراری وضعیت آب زلال در طول آزمایشات، آزمایش بدون پایه انجام شد. رسوبات با $D_{50} = 0.85 \text{ mm}$ و ضخامت ۱۱ سانتی متر در سراسر کانال پخش شدند. با توجه به عمق ثابت برای آب در طول کانال و حداکثر دبی مورد نیاز برای شرایط آب زلال ۱۳/۴۱ لیتر بر ثانیه برآورد شد. در مرحله بعد، برای دستیابی به زمان تعادل آزمایشات، یک آزمایش طولانی مدت با مدت زمان ۱۰ ساعت با دبی ۱۳/۴۱ لیتر بر ثانیه انجام شد و پایه در موقعیت ۴۵ درجه قرار گرفت. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، تقریباً ۰/۹۵٪

از تشکیل ریپل قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی متر بزرگ تر باشد. همچنین برای حذف اثر اندازه رسوبات روی عمق آبشستگی نسبت قطر پایه به متوسط ذرات نباید کمتر از ۵۰ باشد. در همین راستا (Raudkivi & Ettema., 1983) این نسبت را ۲۵-۳۰ پیشنهاد نمودند. با توجه به این موارد یک لایه از ماسه طبیعی با قطر متوسط معادل ۰/۸۵ میلی متر انتخاب و در لایه ای به ضخامت ۱۱ سانتی-متر (با استفاده از سعی و خطا نهایی شد) برای انجام آزمایش ها استفاده شد. (Oliveto & Hager., 2002) برای جلوگیری از آثار زبری، عمق آب را بیشتر از ۲۰ میلی-متر پیشنهاد نمودند. بنابراین در آزمایش های انجام شده در این تحقیق با توجه به عدد فرود جریان مورد نیاز عمق جریان بین ۷/۵ تا ۹/۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد بنابراین به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه استوانه ای، سرعت متوسط جریان کمتر از سرعت بحرانی ($u < u_c$) در نظر گرفته شد. لازم به ذکر روابط متعددی تا کنون برای تخمین سرعت بحرانی حرکت رسوب در کانال های مستقیم ارایه شده است (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷). عمده این روابط را می توان به صورت رابطه ۴ نوشت (شفاعی بجستان ۱۳۸۷):

$$\frac{V_c}{[g(G_s - 1)ds]^{0.5}} = a \left(\frac{ds}{y} \right)^m \quad (4)$$

که در آن V_c سرعت متوسط بحرانی برای حرکت رسوب، ds قطر ذره رسوب، G_s چگالی رسوب و y عمق جریان می باشد. ضرایب a, m با توجه به داده آزمایشگاهی بدست می آیند و محققین مختلف مقادیر مختلفی برای آنها ارایه داده اند که در جدول (۲) آورده شده است.

مختلف مطابق جدول (۳) انجام شد.

جدول (۳): محدوده تغییرات پارامترهای حاکم بر فضای تحقیق

پارامترهای موثر	دامنه پارامترها
نوع پایه و ابعاد	پایه استوانه‌ای با قطر ۴۵ میلی-متر
جنس پایه	پلاستیکی
موقعیت پایه	۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه
دبی	۷/۴۹، ۱۰/۷۴ و ۱۳/۴۱ لیتر بر ثانیه
عدد فرود	۰/۲۳ و ۰/۳
اندازه متوسط دانه بستر	۰/۸۵ میلی‌متر
متوسط ضخامت بستر	۱۱ سانتی‌متر
عمق جریان	۷/۵ تا ۹/۵ سانتی‌متر

نتایج و بحث

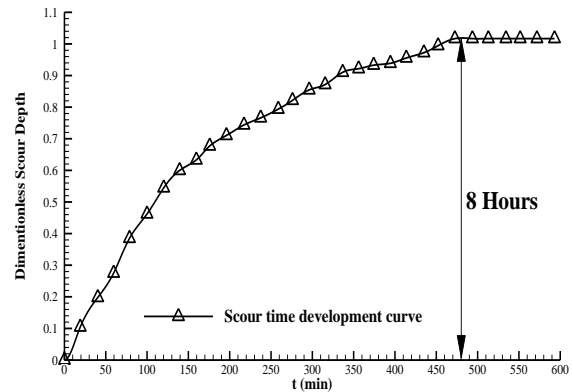
در تمام آزمایشات مشاهده شد که پس از برخورد جریان با پایه، آبشستگی به سرعت در اطراف آن رخ داده است (شکل ۴).



شکل (۴): الگوی آبشستگی موضعی اطراف پایه پل استوانه‌ای در انتهای یک آزمایش

پس از مدتی از شروع آزمایش، رسوبات برخاسته از

از آبشستگی در طی ۸ ساعت اول اتفاق می‌افتد، بنابراین در کلیه آزمایش‌ها، زمان آزمایش ۸ ساعت در نظر گرفته شد (شکل ۳).



شکل (۳): زمان تعادل در موقعیت ۴۵ درجه

برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا پایه استوانه‌ای در موقعیت مورد نظر نصب شد. سپس رسوبات کف، توسط ارایش متحرک به طور یکسان در جهت طولی و عرضی در سراسر فلود گسترانده شد. پیش از راه اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد. پس از گذشت چند ساعت، 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. با تنظیم دقیق و همزمان شیر فلکه و دریچه پایین دست عمق جریان و دبی مورد نظر حاصل شد. پس از گذشت ۸ ساعت، پمپ خاموش شد و آب موجود در کانال به آرامی زه‌کشی شد تا تاثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب از درون کانال، به وسیله عمق‌سنج مجهز به متر لیزری مدل-DISTO Leica x310 با دقت ± 1 میلی‌متر، توپوگرافی بستر در اطراف پایه استوانه‌ای در موقعیت‌ها و دبی‌های مختلف برداشت شد. به منظور بررسی دقیق تغییرات ایجاد شده در بستر در امتداد عرضی فاصله نقاط برداشت ۱ سانتی‌متر و در امتداد طولی با توجه به موقعیت ۱ الی ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پایه در موقعیت‌های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نصب گردید و برای نرخ دبی‌های ۷/۴۹، ۱۰/۷۴ و ۱۳/۴۱ لیتر بر ثانیه وضعیت آبشستگی تحت شرایط آب زلال مطالعه گردید. در مجموع ۹ آزمایش برای پایه استوانه‌ای در موقعیت‌های

اصلی ترین عوامل این امر زاویه برخورد جریان اصلی نزدیک بستر به پایه پل می باشد که در زاویه ۴۵ درجه در مقایسه با دو زاویه ۳۰ و ۶۰ درجه انحراف بیشتری از خط عمود بر پایه دارد، می باشد.

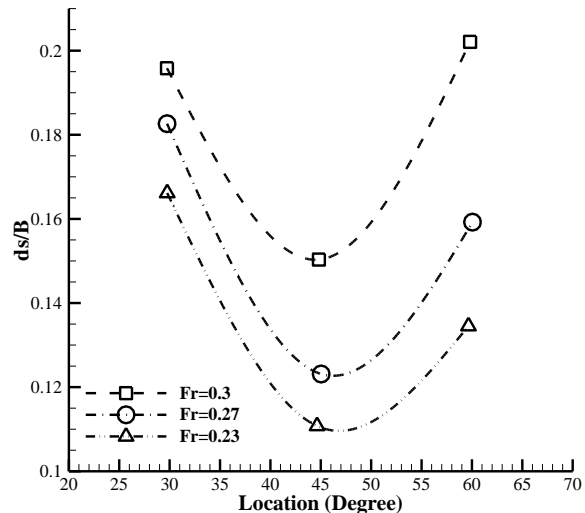
پروفیل عرضی چاله آبستنگی اطراف پایه

شکل (۶) مقایسه پروفیل های عرضی چاله آبستنگی بدون بعد را از مقطع عبوری از خط مرکزی پایه استوانه ای در موقعیت های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه برای عدد فرودهای مختلف نشان می دهد.

مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که با افزایش میزان عدد فرود، سرعت جریان افزایش می یابد، به طوری که گرداب های نعل اسبی و برخاستن ها در اطراف پایه با شدت بیشتری شکل می گیرند همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است در موقعیت ۳۰ درجه در قوس با افزایش عدد فرود از ۰/۲۳ به ۰/۲۷ و ۰/۳ به ترتیب عمق آبستنگی ۱۱٪ و ۱۷٪ بیشتر شده و چاله آبستنگی هم بزرگتر گردیده است، در موقعیت ۴۵ درجه با افزایش عدد فرود به ترتیب ۱۵٪ و ۳۶٪ عمق ماکزیمم چاله آبستنگی افزایش پیدا کرده است و همچنین در موقعیت ۶۰ درجه با افزایش عدد فرود به ترتیب ۲۱٪ و ۵۱٪ این عمق افزایش پیدا کرده است که این میزان افزایش در دو موقعیت ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به موقعیت ۳۰ درجه احتمالاً به دلیل توسعه کامل تر و قدرت بیشتر جریان های ثانویه است.

در نیمه اول خم (زاویه های ۳۰ و ۴۵ درجه)، در واقع دو نوع متفاوت آبستنگی در زاویه های ۳۰ و ۴۵ درجه مشاهده گردید و همچنین توسعه پروفیل های عرضی کمتر از نیمه دوم خم بود. با افزایش موقعیت در نیمه دوم خم (زاویه ۶۰ درجه) و همچنین افزایش عدد فرود، توسعه پروفیل عرضی و حجم چاله آبستنگی افزایش یافته است. همچنین در این آزمایش ها مشاهده شد که توسعه چاله آبستنگی موضعی به سمت قوس خارجی مقداری بیشتر است. نتیجه اینکه همانطور که از شکل ۶ قابل مشاهده است در هر ۳ موقعیت استقرار پایه با افزایش دبی عمق آبستنگی و همچنین ابعاد چاله آبستنگی و توسعه پروفیل عرضی افزایش یافته است، پس بین عمق آبستنگی و دبی جریان در مسیر قوسی شکل رابطه مستقیمی وجود دارد و با افزایش دبی جریان، عمق و

حفره آبستنگی به محدوده ای رسیدند که تاثیر پایه بر آن محدوده کاهش یافته و اثر گردابه های نعل اسبی پشت پایه ناچیز می شد. مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که چاله آبستنگی اطراف پایه پل تابعی از موقعیت پایه در خم و عدد فرود است. نتایج عمق آبستنگی ماکزیمم در موقعیت های مختلف مطابق جدول (۴) و شکل (۵) ثبت شد.



شکل (۵): تغییرات حداکثر عمق آبستنگی بدون بعد چاله آبستنگی اطراف پایه در موقعیت های مختلف و اعداد فرود متفاوت

جدول (۴): نتایج ماکزیمم عمق آبستنگی اطراف پایه استوانه ای در موقعیت های متفاوت

موقعیت (درجه)			دبی جریان و عدد فرود
۶۰	۴۵	۳۰	
۶/۷	۵/۵	۸/۳	$Q = 7.49 \frac{lit}{s} & Fr = 0.23$
۸/۱	۶/۳	۹/۲	$Q = 10.74 \frac{lit}{s} & Fr = 0.27$
۱۰/۱	۷/۵	۹/۷	$Q = 13.41 \frac{lit}{s} & Fr = 0.3$

اعداد مندرج در جدول (۴) و همچنین نمودار های نشان داده شده در شکل (۵) نشان می دهد در شرایطی که پایه پل در موقعیت ۴۵ درجه از ابتدای قوس قرار دارد در مقایسه با دو موقعیت دیگر عمق آبستنگی کمتری رخ داده است. بررسی های انجام شده با مدل عددی سه بعدی SSIM 1 (نتایج در اینجا اریه نشده است و در تحقیقات بعدی نتایج مدل عددی ارایه خواهد شد) نشان داد یکی از



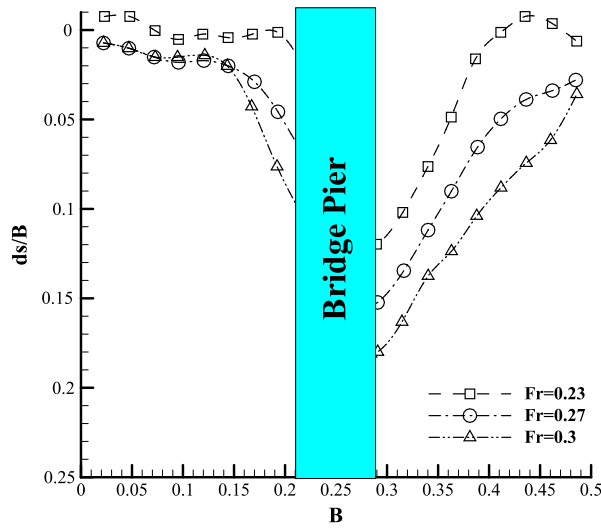
افزایش دبی جریان در پیشانی پشته رسوبی ایجاد شده بعد از پایه پل مجدداً چاله آبستنگی ولی با ابعاد کوچکتر تشکیل شد. علاوه بر این همانطور که از اشکال زیر نیز قابل مشاهده است با افزایش دبی جریان عمق و حجم چاله آبستنگی موضعی اطراف پایه افزایش یافته است.

حجم چاله آبستنگی اطراف پایه به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

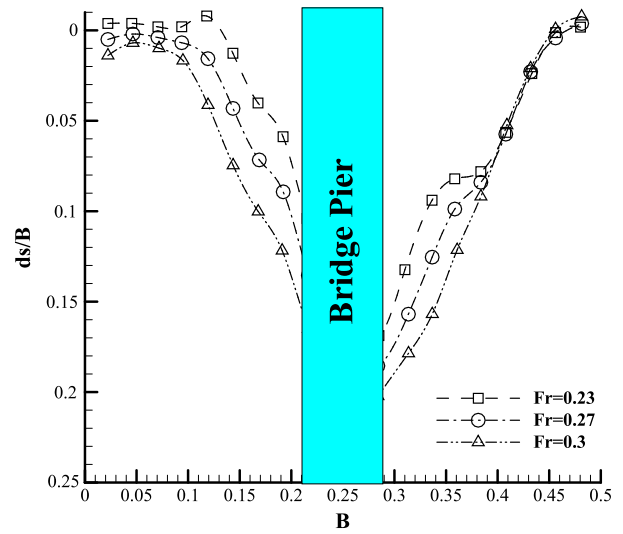
تغییرات عمق آبستنگی نسبت به دبی جریان و موقعیت پایه استوانه‌ای در قوس

همانطور که گفته شد بعد از زهکش شدن کامل آب از درون کانال، به وسیله عمق‌سنج لیزری با دقت میلی‌متر، توپوگرافی بستر در اطراف پایه استوانه‌ای و همچنین تا محلی از فلوم که توپوگرافی بستر تغییر کرده، در موقعیت‌ها و دبی‌های مختلف برداشت شد. به منظور بررسی دقیق تغییرات ایجاد شده در بستر در امتداد عرضی فاصله نقاط برداشت ۱ سانتی‌متر و در امتداد طولی با توجه به موقعیت نقطه برداشت ۱ الی ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در شکل‌های ۷ تا ۹، داده‌های بدست آمده از توپوگرافی بستر با نرم‌افزار TEC PLOT 360 رسم شده است تا بتوان آنها را بهتر تحلیل نمود. مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که نصب پایه در موقعیت‌های مختلف در خم ۹۰ درجه باعث تغییر در توپوگرافی بستر، عمق، ابعاد و حجم چاله آبستنگی در اطراف پایه می‌شود و همچنین تأثیری مستقیم بر روی بستر بعد از پایه پل در قوس می‌گذارد.

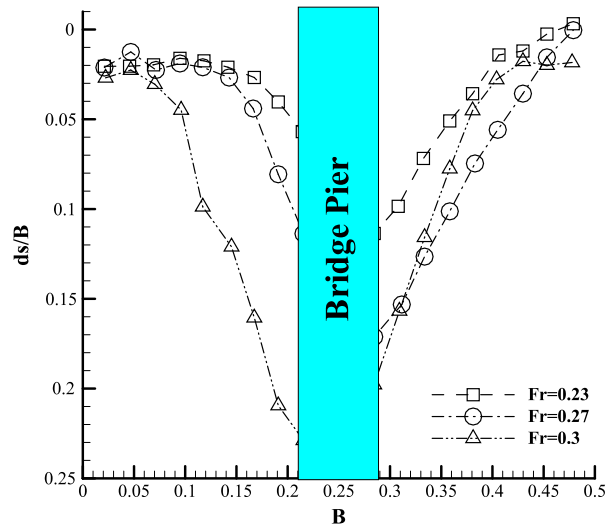
همانطور که از شکل‌های ۷ تا ۹ مشاهده می‌شود در موقعیت‌های ۳۰ و ۴۵ درجه که در نیمه اول خم قرار دارند درست بعد از پایه پل پشته رسوبی و در دو طرف آن دو مجرا شکل گرفته است که این پشته رسوبی به سمت قوس خارجی امتداد یافته است و کشیده شده است نکته جالب در استقرار ۳۰ درجه این است که فقط در این استقرار با



(ب)

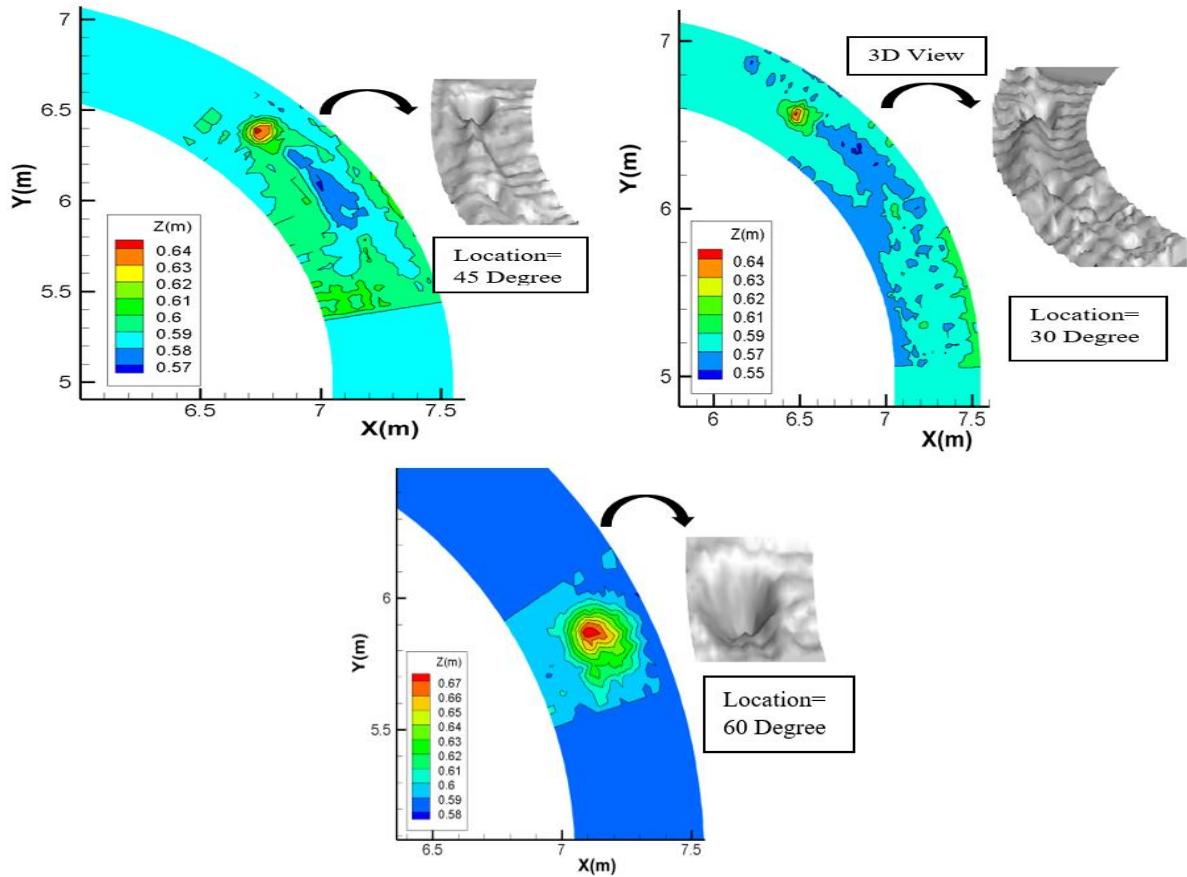


(الف)

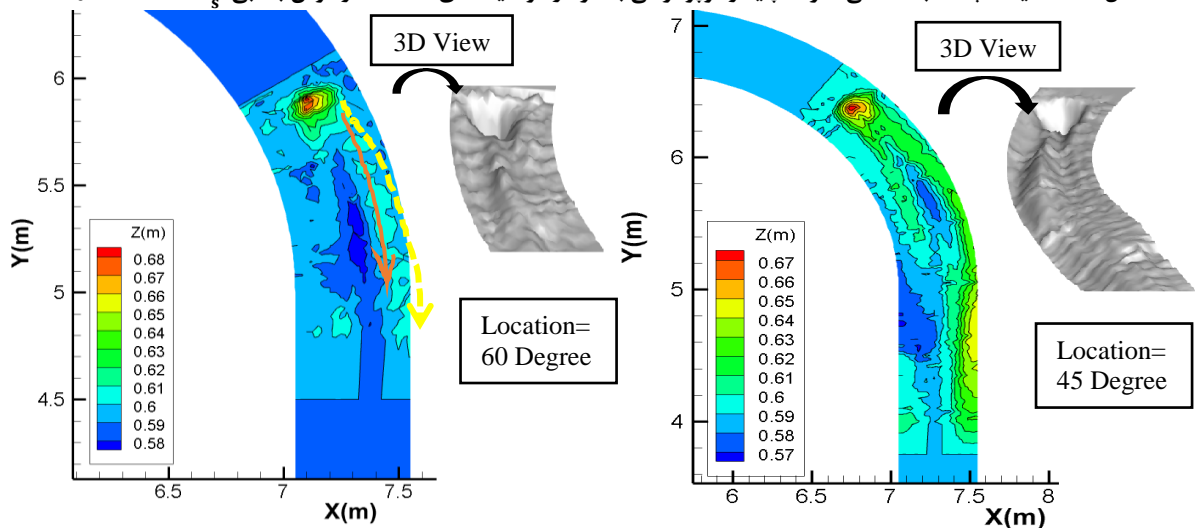


(ج)

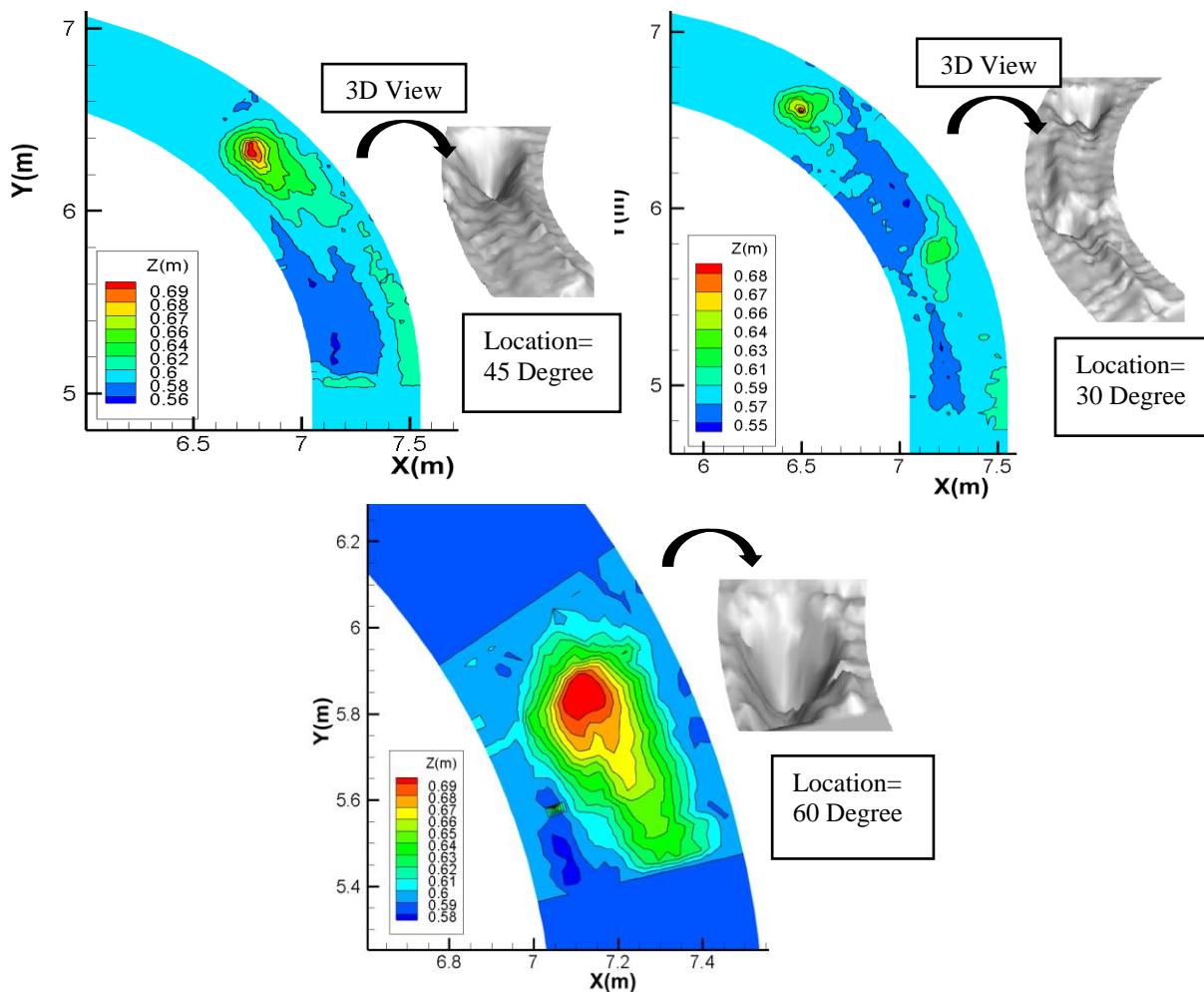
شکل (۶): مقایسه پروفیل عرضی چاله آبستنگی اطراف پایه با توجه به عدد فرود در موقعیت‌های متفاوت: الف) موقعیت ۳۰ درجه، ب) موقعیت ۴۵ درجه، ج) موقعیت ۶۰ درجه



شکل (۷): مقایسه چاله آبستنگی اطراف پایه و توپوگرافی بستر در موقعیت‌های مختلف در قوس با دبی $Q = 7.4831 \frac{\text{lit}}{\text{s}}$



شکل (۸): مقایسه چاله آبستنگی اطراف پایه و توپوگرافی بستر در موقعیت‌های مختلف در قوس با دبی $Q = 10.7386 \frac{\text{lit}}{\text{s}}$



شکل (۹): مقایسه چاله آبستنگی اطراف پایه و توپوگرافی بستر در موقعیت‌های مختلف در قوس با دبی $Q = 13.41 \frac{\text{lit}}{\text{s}}$

بیشترین عمق آبستنگی در بالادست و اطراف پایه رخ می‌دهد. ولی نکته قابل توجه در این موقعیت توسعه کم پشته رسوبی بعد از پایه نسبت به موقعیت‌های استقرار نیمه اول خم است.

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف بررسی آبستنگی موضعی اطراف پایه پل واقع در خم ۹۰ درجه، به صورت آزمایشگاهی انجام شد. به طور خاص، اثر موقعیت پایه در یک خم با تغییرات دبی جریان روی آبستنگی موضعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از مدل آزمایشگاهی مقایسه شده و براساس بحث انجام شده در بالا، نتیجه‌گیری‌های زیر منتج شد.

- نصب پایه در موقعیت‌های مختلف خم باعث تغییر

در نیمه اول خم پشته رسوبی کامل توسعه یافته است که بدلیل تاثیر کامل قدرت جریان ثانویه و تنش برشی در این موقعیت است. همچنین چاله آبستنگی موضعی به طرف قوس خارجی کشیدگی و تمایل بیشتری دارد. با وارد شدن به نیمه دوم خم (زاویه ۶۰ درجه) مشخص شد که افزایش موقعیت پایه در خم تأثیر معنی‌داری در آبستنگی موضعی اطراف پایه دارد، به طوری که آبستنگی به حداکثر مقدار خود رسید. افزایش موقعیت پایه در خم منجر به عدم تعادل بین گرادیان فشار و نیروی گریز از مرکز می‌شود. به دنبال این عدم تعادل، جریان‌های ثانویه و تنش‌های برشی اطراف پایه افزایش یافته و گرداب‌های شدید و بیشمار نعل اسبی و برخاستن‌های اطراف پایه ایجاد شده است. مطابق شکل ۹ مشاهده می‌شود که در نیمه دوم خم،

- در توپوگرافی بستر، عمق، ابعاد و حجم چاله آبشستگی در اطراف پایه شد.
- افزایش موقعیت پایه در نیمه دوم خم منجر به افزایش شدت جریان‌های ثانویه و تنش برشی شد، به طوری که عمق آبشستگی و حجم چاله آبشستگی نیز افزایش می‌یابد.
- پشته رسوبی ایجاد شده بعد از پایه پل در موقعیت استقرار پایه در نیمه دوم خم در مقایسه با نیمه اول توسعه کمتری یافته است.
- اثر همزمان افزایش دبی و افزایش موقعیت پایه، به ویژه در نیمه دوم خم منجر به گسترش چاله آبشستگی تا دیواره‌های کانال و افزایش قابل توجه عمق آبشستگی در اطراف پایه می‌شود.
- حداکثر عمق و حجم آبشستگی در نیمه دوم خم در زاویه ۶۰ درجه در رخ داده است.
- در همه موارد، حداقل عمق و حجم آبشستگی در زاویه ۴۵ درجه رخ داده است.
- نتایج نشان داد که توسعه پشته رسوبی بعد از پایه و میزان گسترش آن در نیمه اول خم بیشتر از نیمه دوم آن بود.
- در همه آزمایش‌ها مشاهده شد که چاله آبشستگی موضعی مقداری بیشتری به سمت قوس خارجی کشیده شده است.

منابع

- امامی، ی.، م. میرباقری، ا. ا. دهقنی و م. قدسیان. ۱۳۸۵. آبشستگی اطراف پایه استوانه‌ای شکل در یک قوس ۱۸۰ درجه. هفتمین سمینار بین‌المللی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۷. مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- صالحی نیشابوری، س. ع. ا. و ا. اقبال‌زاده. ۱۳۸۱. بررسی اثر جریان بر توپوگرافی بستر در قوس. ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، صص. ۵۶۷-۵۷۴.
- مسجدی، ع.، ح. کاظمی و ا. مرادی. ۱۳۹۰. اثر موقعیت پایه پل استوانه‌ای بر عمق آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه‌ها. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، دوره ۱۵، شماره ۵۷.
- Breusers, H.N.C. and A.J. Raudkivi. 1991. Scouring, Hydraulic Structure Design Manual. No.2, IAHR, Balkema, PP. 143.
- Chiew, Y.M. and B.W. Melville. 1987. Local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Resources, 25(1): 15-26.
- Dargahi, B. 1987. Controlling mechanism of local scouring. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 116 (10):1197-1214.
- Ippen, A.T. and P. Drinker. 1962. Boundry shear stress in curved trapezoidal channels. J. Hydraul. Div. 88(HY5).
- Lagasse, P.F. and E.V. Richardson. 2001. ASCE compendium of stream stability and bridge scour papers. J. Hydraul. Eng, ASCE 127(7): 531-533.
- Melville, B.W. and Y.M. Chiew. 1999. Time scale for local scour depth at bridge piers. J. Hydraul. Eng. ASCE 125(1):59-65.
- Melville, B.W. and S.E. Coleman. 2002. Bridge scour. Water Resour. Pub. LLC, Colorado, USA.
- Mosonyi, E. and W. Gotz. 1973. Secondary currents in subsequent model bends. International Symposium on River Mechanics, pp. 191-201.
- Odgard, A. J. and A. Bergs. 1988. Flow processes in a curved alluvial channel, Water Resources Research, 24(1): 45-56.
- Oliveto, G. and W.H. Hager. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. J. Hydraul. Eng. ASCE 128(9): 811-820.
- Raudkivi, A.J. and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. J. Hydraul. Eng. ASCE



109(3): 339-350.

Raudkivi, A.J. 1998. Loose Boundry Hydraulics. 4th ed., Rotterdam, Brookfield, Balkema, VT. 496 p.

Richardson, E.V. and S.R. Davies. 1995. Evaluating scour at bridges. Rep. No. FHWAIP-90-017 (HEC 18), Federal Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

Rozovskii, I. L. 1957. Flow of water in bend of open channel, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Institute of Hydrology and Hydraulic Engineering.

Schlichting, H. and Gersten, K. 2000. Boundary layer theory, New York, Springer Verlag.

Vijayasree, B. A., T. I. Eldho., B. S. Mazumder and N. Ahmad. 2019. Influence of bridge pier shape on flow field and scour geometry. International Journal of River Basin Management, 17(1):

109-12



Laboratory Study of Pier Location on Scouring Around Bridge Pier in 90-Degree Mild Bend

Seyed Sasan Katourany¹, Rsool Ghobadian^{2*}, Masoud Ghodsian³

Abstract

Bridges are the most useful structures on rivers which floods cause damage to them every year. One of the known factors in bridges destruction is local scouring around the bridge piers. In this study, to investigate the scour depth around the bridge pier in the river bend, experiments were performed in a laboratory flume with a 90-degree bend with $R_c/B = 3.7$. By placing a cylindrical pier with a diameter of 45 mm at three locations of 30, 45 and 60 degrees along the bend, for three flow Froude numbers, the scouring around the pier under clear water condition was investigated. Natural sand with an average diameter of 0.85 mm is used for the bed materials. The results showed that the maximum scour depth around the bridge pier varies at a different location along the bend. Besides, the flow discharge increase grows the depth and volume of the scour hole at all positions. Additionally, maximum and minimum depth and volume of scouring hole occurs in the second half of the bend at 60-degree position and in the middle of the bend at 45-degree position, respectively. Finally, it was recorded that the development of the sedimentary hill after the pier and its extent in the first half of the bend was higher than the second half of bend. The result also indicated that the maximum and minimum scour depths relative to the pier diameter are equal to 2.24 and 1.22, respectively.

Keywords: Local scouring, Bridge pier, Pier location, 90-degree mild bend.

-
- 1- Phd. Candidate Hydraulic Structures, Department of Water Eng., Razi University, Kermanshah, Iran, skatourany@gmail.com,
 - 2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran, r_ghobadian@razi.ac.ir (Corresponding Author)
 - 3- Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modarres University ghods@modares.ac.ir

Research Paper

Laboratory Study of Pier Location on Scouring Around Bridge Pier in 90-Degree Mild Bend

Seyed Sasan Katourany¹Rasool Ghobadian^{2*},Masoud Ghodsian³,¹ Phd. Candidate Hydraulic Structures, Department of Water Eng., Razi University, Kermanshah, Iran.² Associate Professor, Department of water engineering, Razi University, Iran.³ Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modarres University.

10.22125/IWE.2021.267051.1469

Received:

January.12.2021

Accepted:

May.10.2021

Available online:

June.01.2022**Keywords:****Local scouring, Bridge pier, Pier location, 90-degree mild bend.****Abstract**

Bridges are the most useful structures on rivers which floods cause damage to them every year. One of the known factors in bridges destruction is local scouring around the bridge piers. In this study, to investigate the scour depth around the bridge pier in the river bend, experiments were performed in a laboratory flume with a 90-degree bend with $R/B=3.7$. By placing a cylindrical pier with a diameter of 45 mm at three locations of 30, 45 and 60 degrees along the bend, for three flow Froude numbers, the scouring around the pier under clear water condition was investigated. Natural sand with an average diameter of 0.85 mm is used for the bed materials. The results showed that the maximum scour depth around the bridge pier varies at a different location along the bend. Besides, the flow discharge increase grows the depth and volume of the scour hole at all positions. Additionally, maximum and minimum depth and volume of scouring hole occurs in the second half of the bend at 60-degree position and in the middle of the bend at 45-degree position, respectively. Finally, it was recorded that the development of the sedimentary hill after the pier and its extent in the first half of the bend was higher than the second half of bend. The result also indicated that the maximum and minimum scour depths relative to the pier diameter are equal to 2.24 and 1.22, respectively.

*** Corresponding Author:** Rasool Ghobadian**Address:** Department of Water Eng., Razi University, Kermanshah, Iran,**Email:** r_ghobadian@razi.ac.ir**Tel:** +989188332489

1. Introduction

Bridges are one of the most important and widely used river structures that are of great importance in road construction. Every year, with the occurrence of floods in every river, a large number of these bridges are destroyed just when they are most needed. One of the most effective causes of these destructions is local scouring around the bridge piers in the river.

The mechanism of scouring process and hydrodynamics of the flow around the bridge piers in a river bend is very important for engineers and researchers in the field of environmental fluid mechanics and ecology (Vijayasree et al., 2019). Based on studies by (Richardson & Davies., 1995), (Raudkivi & Ettema., 1983) and (Lagasse & Richardson., 2001) the scouring phenomenon around the bridge piers is influenced by factors such as river geometry, flow rate, depth Flow, pier diameter, gravity acceleration, properties of bed materials, pier position angle to flow, pier shape and fluid properties.

As reviewed in the background of the subject, so far research has been done on general erosion in the 90-degree bend. However, no research has been done on the local erosion of the bridge pier in the 90-degree bend, which in this study using laboratory model was investigated.

2. Materials and Methods

Dimensional analysis:

Important and effective parameters on the scouring phenomenon at the piers of the bridge in the bend can be introduced in six parts, which are fluid properties, bed material properties, river geometry characteristics, bridge pier geometry and its position in the bend, input flow conditions and time.

In this study, the grain size of the sediment was uniform, all experiments continued until the equilibrium time was reached, and in all of them clear water conditions prevailed, so the parameters of time, critical velocity and geometric standard deviation were ignored. Therefore, the scour depth at the pier of the bridge in the 90 ° bed can be written as a function of the following parameters:

$$d_s = f \left(\mu, \rho, g, V, y, \rho_s, d_{50}, n_b, \theta_1, \theta_2, B, \frac{R_c}{B}, D, Sh \right) \quad (1)$$

Where, d_s maximum scour depth, μ dynamic water viscosity, ρ volumetric mass of fluid, g gravity acceleration, V flow velocity upstream of the bend, y depth of flow upstream of the bend, ρ_s volumetric mass of sediment, d_{50} average diameter of sediment particles, n_b channel bed roughness, $\theta_1 = 90^\circ$ central angle of the bend which is fixed, θ_2 position of the bridge pier in the bend, B width of the canal, R_c / B ratio of the radius of the central curvature to the width of the section which is constant, D pier diameter and Sh is the pier shape factor. Using dimensional analysis and Buckingham theory, the relationship between dimensionless groups will be obtained as the following equation:

$$\frac{d_s}{B} = f \left(\frac{\mu}{\rho B V}, \frac{g B}{V^2}, \frac{y}{B}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{d_{50}}{B}, \frac{V n_b}{B^{2/3}}, \theta_1, \theta_2, \frac{R_c}{B}, \frac{D}{B}, Sh \right) \quad (2)$$

Given that the parameters ρ , μ , ρ_s , d_{50} , n_b , B , R_c , D , θ_1 and Sh are fixed in the experiments by integrating some dimensionless parameters into each other and also satisfying the turbulent flow conditions with a rough bed (Reynolds number between 14980-26820) The general dimensionless relation is obtained as follows:

$$\frac{d_s}{B} = f(Fr, \theta_2) \quad (3)$$

Where θ_2 is the position of the bridge pier in the bend and Fr is the Froude number of upstream flow.

Laboratory Model:

Experiments were performed in a bend flume, which is made of Plexiglas and steel frame with a central angle of 90 degrees, central radius $R_c = 1.85$ m and width $B = 0.5$ m, in the hydraulic laboratory of Razi University Water Engineering Department. The relative curvature of the bend is $R_c/B = 3.7$, which puts the bend in the category of mild bend. The direct inlet channel with a length of 4.5 meters is connected to a channel with a 90-degree bend. This bend channel was connected to the flow depth control valve and then the outlet tank by another 5 m long direct channel (Figure 1).

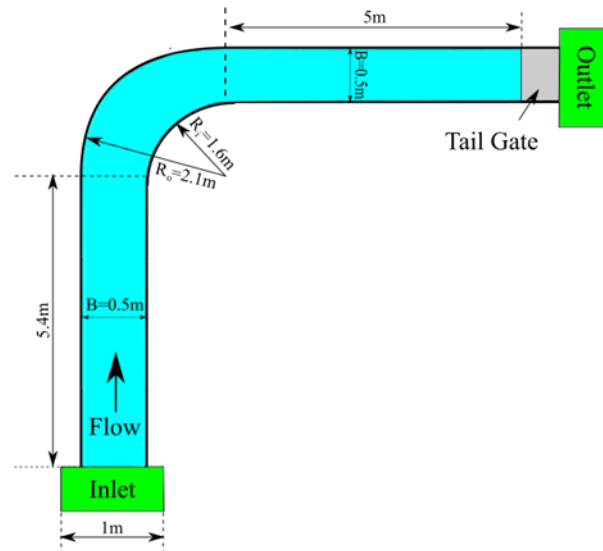


Figure 1. Schematic view of 90-degree flume

The experiments were performed for 8 hours until equilibrium was reached. Range of parameters in the present research experiments is presented

Table 1- Range of parameters in the present research experiments

Effective parameters	Parameters range
Pier type and dimensions	Cylindrical pier with a diameter of 45 mm
Pier position	30, 45 and 60 degrees
Flow discharge(l/s)	49.7, 10.74 and 13.41
Froude number	0.23, 0.27 and 0.3
Medium bed grain size	0.85 mm
Average bed particle thickness	11 cm
Depth of flow	7.5 to 9.5 cm

3. Results

Laboratory observations showed that the scour hole around the bridge pier is a function of the pier position at the bend and the Froude number. Variations of maximum dimensionless scour depth around the pier in different positions and different Froude numbers are shown in Figure 2.

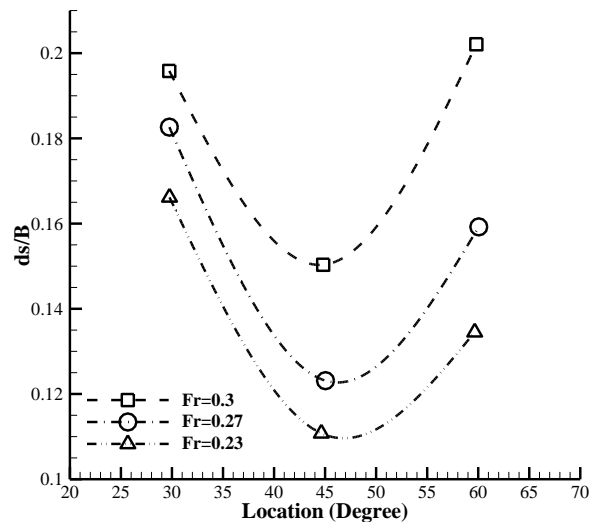
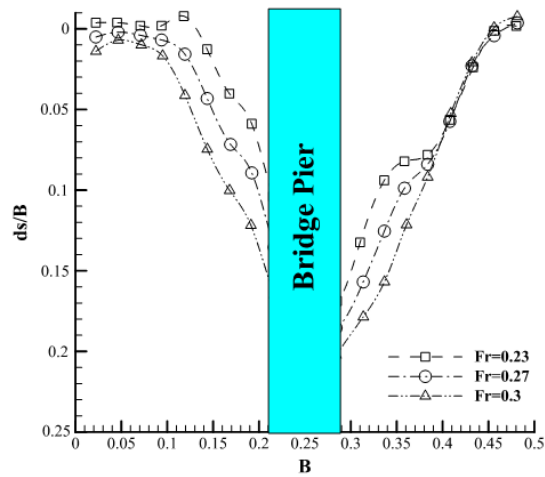


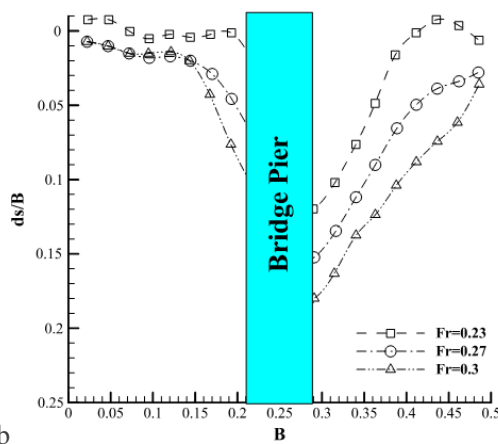
Figure 2 - Changes in the maximum dimensionless scour depth around the pier in different positions and different Froude numbers

The diagrams shown in Figure (1) indicated that when the bridge pier is in a position of 45 degrees from the beginning of the bend, less scouring depth occurred compared to the other two positions. One of the main factors is the angle of impact of the primary flow stream near the bed to the pier of the bridge, which at an angle of 45 degrees compared to the two angles of 30 and 60 degrees is more deviation from normal line on the pier.

Figure (6) shows a comparison of the cross-sectional profiles of a dimensionless scour hole from the cross-section of the central line of the cylindrical pier at 30, 45 and 60 ° for different Froude numbers.

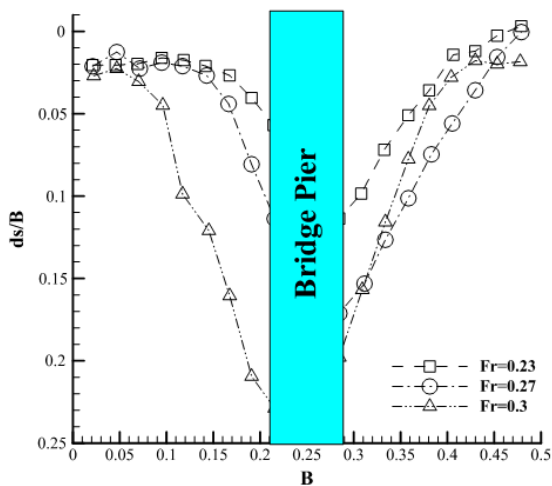


a)



b)

b)



c)

Figure 3- Comparison of transverse profiles of scour holes around the pier according to the Froude number in different positions: a) 30-degree position, b) 45-degree position, c) 60-degree position

As Figure 3 indicate, in these experiments, it was observed that the development of local scouring holes towards the outer wall of bend is slightly higher. Increasing the pier position in the second half of the bend the scour depth and the volume of the scour hole also increased.

4. Discussion and Conclusion

The aim of this study was to investigate the local scouring around the bridge pier located at a 90-degree bend. In particular, the effect of the pier position on a bend was investigated by changes in the flow Froude number on the local scour. The results obtained from the laboratory model were compared and based on the discussion above, the following conclusions were reached:

- Installation of the pier in different positions along the bend caused changes in the topography of the bed, depth, dimensions and volume of the scour hole around the pier.
- Displacement the pier position along the second half of the bend towards the end of bend the scour depth and the volume of the scour hole also increased.
- The sediment bas created after the bridge pier is less developed in the position of the pier in the second half of the bend compared to the first half.
- The simultaneous effect of increasing the discharge and increasing the position of the base, especially in the second half of the bend, leads to the expansion of the scour hole to the canal walls and a significant increase in scour depth around the pier.
- The maximum depth and volume of scouring occurred in the second half of the bend at an angle of 60 °.
- In all cases, the minimum depth and volume of scouring occurred at an angle of 45 degrees.
- The results showed that the development of the sedimentary ridge after the base and its extent in the first half of the bend was more than the second half.
- In all experiments, it was observed that the local scour hole was pulled more towards the outer bend wall.

5. Six important references

1. Breusers, H.N.C. and A.J. Raudkivi. 1991. Scouring, Hydraulic Structure Design Manual. No.2, IAHR, Balkema, PP. 143.
2. Chiew, Y.M. and B.W. Melville. 1987. Local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Resources, 25(1): 15-26.
3. Lagasse, P.F. and E.V. Richardson. 2001. ASCE compendium of stream stability and bridge scour papers. J. Hydraul. Eng, ASCE 127(7): 531-533.
4. Raudkivi, A.J. and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. J. Hydraul. Eng. ASCE 109(3): 339-350.
5. Richardson, E.V. and S.R. Davies. 1995. Evaluating scour at bridges. Rep. No. FHWAIP-90-017 (HEC 18), Federal Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
6. Vijayasree, B. A., T. I. Eldho., B. S. Mazumder and N. Ahmad. 2019. Influence of bridge pier shape on flow field and scour geometry. International Journal of River Basin Management, 17(1):109-12

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

Razi University Vice Chancellor for Research is commended for supporting this research