

اثر متقابل پایه و تکیه‌گاه پل بر آبستنگی موضعی در اطراف آن‌ها

مرتضی عرب^۱ و سید محمد علی زمرودیان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز
۲* - نویسنده مسئول، دانشیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز mzomorod@shirazu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۳۱

چکیده

مسئله آبستنگی موضعی در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل در سال‌های اخیر به طور گسترده توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. این در حالی است که مطالعات اندکی از تأثیر فاصله پایه از تکیه‌گاه روی آبستنگی پایه و تکیه‌گاه پل موجود می‌باشد. با توجه به این که پل‌های زیادی در سطح جهان ساخته می‌شوند که دارای پایه‌هایی در فاصله نزدیک به تکیه‌گاه می‌باشند، بنابراین ضرورت می‌یابد این موضوع مورد بررسی قرار گیرد. در تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر طول تکیه‌گاه و شکل پایه بر روی عمق آبستنگی آن‌ها، از تکیه‌گاه‌های قائم با طول‌های ۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ سانتی متر و پایه‌های دایره‌ای، مربعی گرد گوشه و مربعی نوک تیز در دو فاصله ۱۷/۵ و ۳۵ سانتی متر نسبت به سیلاب دشت استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با نزدیک شدن پایه به تکیه‌گاه، آبستنگی آن‌ها افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه حضور پایه نوک تیز در فاصله ۱۷/۵ سانتی متری سیلاب دشت برای تکیه‌گاه ۵۰ سانتی متری، عمق آبستنگی تکیه‌گاه و پایه را به ترتیب ۵۰ درصد و ۶۱ درصد در مقایسه با پایه و تکیه‌گاه به صورت مجزا افزایش می‌دهد.

کلید واژه‌ها: آبستنگی، تکیه‌گاه پل، پایه پل، سیلاب دشت.

Interaction of Bridge Pier and Abutment on Local Scour Around Them

M. Arab¹ and S.M.A. Zomorodian^{2*}

1- M. Sc. Student Hydraulic Structure, Water Engineering Department, Shiraz University

2* - Associate Professor of Water Engineering, Shiraz University

Received: 21 May 2014

Accepted: 19 May 2015

Abstract

The local scour around bridge pier and abutment in recent years has been widely studied by different authors. Scant information exists as to how bridge pier proximity to abutment affects scour depth at an abutment and at a pier. Due to the fact that many bridges have a pier located close to an abutment, therefore, it is necessary to be study. This paper presents the effect of abutment length and pier shape on scour depth of them, by using wing-wall abutments with lengths 25, 37.5 and 50cm and circular, round edge and sharp edge piers in two distance, 17.5 and 35cm from the bank wall at the flood plain. The results of experimental study showed that the proximity pier to abutment, increases scour depth of them and the minimum scour depth related to the circular pier and maximum scour depth related to the sharp edge pier. For example, the sharp edge pier in distance 17.5cm from the bank wall at the flood plain, for abutment with length 50cm, increases scour depth of abutment and pier 50% and 61% respectively, compared with scour depth of them in isolation.

Keywords: Scour, Bridge Abutment, Bridge Pier, Flood Plain.

مقدمه

وقوع آبشستگی در اطراف پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل یکی از عمده‌ترین دلایل تخریب پل‌هاست. الگوی جریان و مکانیزم آبشستگی در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل به دلیل وجود میدان جریان آشفته در اطراف آن‌ها پدیده پیچیده‌ای است. پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل معمولاً از لحاظ پدیده‌ی آبشستگی شبیه به هم در نظر گرفته می‌شوند اما در تکیه‌گاه پل به دلیل وجود دیواره کانال میدان جریان پیچیده‌تری را نسبت به پایه پل ایجاد می‌کند (ملویل^۱، ۱۹۹۷). پس از برخورد جریان به تکیه‌گاه پل، روی تکیه‌گاه با توجه به این که سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیش‌تر می‌شود، فشار بیش‌تر نیز در ترازهای بالاتر روی تکیه‌گاه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی تکیه‌گاه از بالا به پایین به وجود می‌آید که خود باعث یک جریان رو به پایین در جلو تکیه‌گاه می‌شود. جریان رو به پایین پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود. مقداری از این جریان که به سمت بالا حرکت می‌کند، در برخورد با جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و دوباره به تکیه‌گاه برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت مجدد آن گرداب اولیه را به وجود می‌آورد. در انتهای دماغه تکیه‌گاه پل نیز، به دلیل کاهش فشار در پشت دماغه، جریان به سمت پشت تکیه‌گاه منحرف شده و گرداب برخاستگی را به وجود می‌آورد. این گرداب شبیه به گرداب عمل کرده و رسوبات در پشت تکیه‌گاه را به سمت بالا مکیده در اختیار جریان عمومی آبراهه قرار می‌دهد (بروسرز و همکاران^۲، ۱۹۹۷). شکل (۱) نمونه‌ای از جریان آشفته و گرداب‌های ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه پل را نشان می‌دهد.

در اطراف پایه‌های پل نیز دو عامل مهم باعث ایجاد چنین سامانه‌هایی می‌شود: یکی برخورد جریان به پایه و دیگری جدا شدن جریان از پایه پل. الگوی جریانی که در اطراف پایه پل شکل می‌گیرد، به طور مستقیم یا غیرمستقیم با یکی از این دو عامل در ارتباط می‌باشد. برخورد جریان به پایه گرداب نعل اسبی را شکل داده و جدایی جریان از پایه باعث به وجود آمدن گرداب برخاستگی می‌شود (ملویل، ۱۹۹۷). در شکل (۲) الگوی جریان در اطراف پایه پل نشان داده شده است.

روابط تجربی متعددی برای پیش‌بینی عمق آبشستگی پایه و تکیه‌گاه وجود دارد که در ادامه به معروف‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود: اداره مرکزی بزرگ‌راه‌های آمریکا برای تخمین عمق آبشستگی در اطراف پایه‌های پل فرمول زیر را پیشنهاد کرد:

$$D_s = 2y_1 K_1 K_2 K_3 K_4 \left(\frac{D}{y_1}\right)^{0.65} F_r^{0.43} \quad (1)$$

y_1 : عمق آب در بالادست پایه پل و K_1 : ضریب تصحیح اثر شکل نوک پایه (بین ۱/۱ - ۰/۹ برای پایه‌های گرد و مستطیلی گرد گوشه برابر یک می‌باشد)، K_2 : ضریب تصحیح اثر زاویه برخورد جریان با پایه، K_3 : ضریب تصحیح برای شرایط مختلف بستر (بین ۱/۱ - ۱/۳ برای شرایط آبشستگی آب زلال برابر ۱/۱ و برای شرایط بستر با دیون‌های بزرگ تر از ۹ متر، ۱/۳ می‌باشد) و K_4 : ضریب تصحیح برای مسلح شدن بستر توسط ذرات رسوب می‌باشد، D و F_r : به ترتیب عرض پایه و عدد فرود جریان در بالادست پایه است و D_s : عمق آبشستگی می‌باشد (رایکار و دی^۳، ۲۰۰۹).

ملویل (۱۹۹۷) یک روش جامع را برای تخمین عمق تعادل آبشستگی در تکیه‌گاه‌های پل ارائه کرد:

$$d_{se} = k_i k_{yw} k_d k_s k_g k_\theta \quad (2)$$

d_{se} : عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل، k_i : پارامتر شدت جریان آب، k_{yw} : پارامتر عمق جریان-اندازه تکیه‌گاه، k_d : پارامتر اندازه رسوبات بستر، k_s : پارامتر شکل فونداسیون پل، k_θ : پارامتر زاویه برخورد تکیه‌گاه با جریان آب و k_g : پارامتر هندسه کانال. d_{se} و k_{yw} : دارای بعد طول می‌باشند در حالی که سایر پارامترها بدون بعد هستند.

به منظور حفاظت پایه‌ها و تکیه‌گاه‌ها نیز روش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. برخی از این روش‌ها با ایجاد پوشش در محل پایه یا تکیه‌گاه، پی‌سازه را از آبشستگی محافظت می‌نمایند (منصوری هفشجانی و شفاعی بجستانی، ۱۳۹۰، اتما^۴، ۱۹۸۰). برخی دیگر از روش‌ها نیز با کارگزاری سازه‌هایی در حوالی پل و یا بر روی خود پایه و تکیه‌گاه و ایجاد تغییرات در آن‌ها منجر به دور کردن جریان از سازه و حفاظت پایه و تکیه‌گاه می‌گردند نظیر استفاده از صفحات مستغرق (خادمی و شفاعی بجستانی، ۱۳۹۳، لاچلان^۵، ۱۹۹۹). کارگزاری قطعات زبری بر روی تکیه‌گاه (رادپوس وداوری^۶، ۲۰۱۴)، استفاده از طوقه (مسجدی و همکاران^۷، ۲۰۱۰)، دیواره‌های موازی تکیه‌گاه (لی و همکاران^۸، ۲۰۰۶) ایجاد شکاف بر روی پایه پل (گرمالدی^۹، ۲۰۰۹) و یا استفاده از روش‌های ترکیبی مثل طوق و کابل (عقلی و زمردیان، ۱۳۹۲) و سایر روش‌ها.

3- Raikar and Dey.

4- Ettema

5- Lauchlan

6- Radice and Davari

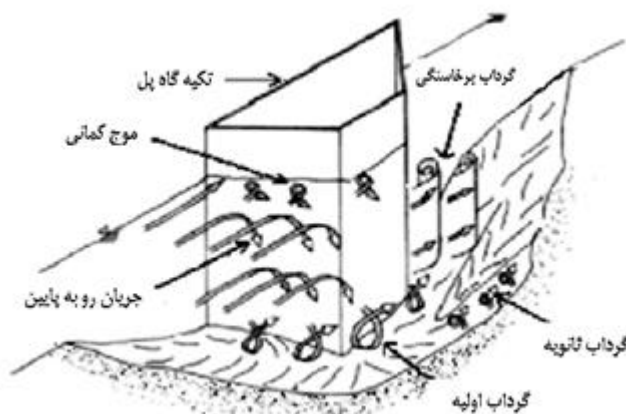
7- masjedi et al.

8- Li, et al.

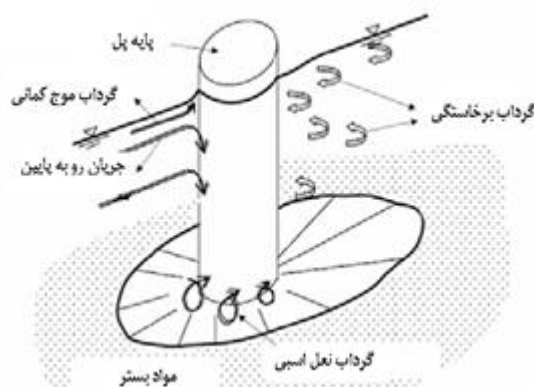
9- Grimaldi et al.

1- Melvill

2- Breusers et al.



شکل ۱- مکانیزم آبستگی در اطراف تکیه گاه پل (بروسرز و همکاران، ۱۹۹۷)



شکل ۲- مکانیزم آبستگی در اطراف پایه استوانه‌ای شکل (ملویل، ۱۹۹۷)

هانگ^۲ (۲۰۰۵) تأثیر حضور پایه را در نزدیکی تکیه گاه مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیقات این محقق نشان داد که حضور پایه روی عمیق تر شدن آبستگی در نزدیکی تکیه گاه تاثیرگذار است.

این نیارکو و اتما^۳ (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر نزدیکی پایه به تکیه گاه روی آبستگی پایه و تکیه گاه پرداختند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که حضور پایه در نزدیکی تکیه گاه نه تنها منجر به افزایش قابل توجهی روی عمق آبستگی تکیه گاه نمی‌شود بلکه برای هنگامی که پایه در نزدیکی پنجه یک تکیه گاه شیبدار قرار می‌گیرد این عمق کاهش می‌یابد.

اکثر تحقیقات گذشته مطالعه پدیده آبستگی در اطراف فونداسیون پل، برای حالتی است که پایه و تکیه گاه به صورت مجزا از هم مورد بررسی قرار گرفته‌اند و اطلاعات بسیار اندکی از تأثیر حضور پایه در نزدیکی تکیه گاه بر روی عمق آبستگی هر یک از آن‌ها وجود دارد این در حالی است که بسیاری از پل‌هایی که در جهان ساخته می‌شوند دارای پایه‌هایی در فاصله نزدیک به

مطالعات بسیار اندکی بر روی تأثیر فاصله پایه از تکیه گاه بر روی آبستگی هر یک از آن‌ها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد:
کرا^۱ (۱۹۸۹) رابطه تقریبی را برای تأثیر فاصله پایه از تکیه گاه پیشنهاد کرد:

$$d_{spier} = 0.9d_{smax} \quad (3)$$

جایی که d_{spier} : عمق آبستگی در پایه و d_{smax} : حداکثر عمق آبستگی تکیه گاه می‌باشد. این رابطه بیش از حد کلی است و تأثیر نوع تکیه گاه یا فاصله بین پایه یا تکیه گاه را در نظر نمی‌گیرد. ملویل (۱۹۹۷) حاصل تحقیقات انجام شده در دانشگاه آکلند را به منظور تخمین عمق آبستگی پایه و تکیه گاه به صورت توأمان و در یک رابطه ارائه داد. در این رابطه تأثیر شکل پایه و تکیه گاه، زاویه آن‌ها، اندازه رسوب، هندسه کانال، شدت و عمق جریان در نظر گرفته شده است.

2- Hong

3- Oben-nyarko and Ettema.

1- Croad

۲۰ باشد. با توجه به این موارد یک لایه از ماسه با قطر متوسط ۰/۸ میلی متر و ضریب انحراف استاندارد معادل ۱/۲۷ برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. بر اساس توصیه ملویل و ساترلند^۳ (۱۹۸۸) برای اینکه اندازه رسوبات بر روی عمق آبستگي تکیه‌گاه بی‌تأثیر باشد، باید نسبت طول تکیه‌گاه به قطر متوسط رسوبات بیش از ۵۰ باشد، بنابراین از تکیه‌گاه‌هایی با طول‌های ۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. برای این که عمق آب بر روی عمق آبستگي اثری نداشته باشد نسبت قطر پایه به عمق آب باید کوچک‌تر از ۰/۷ باشد (رادکیوی و اتما، ۱۹۸۳) از این رو عمق آب ثابت و برابر با ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این نکته که نسبت طول تکیه‌گاه‌ها به عمق آب بین ۱ تا ۲۵ بود هر سه تکیه‌گاه با طول متوسط در نظر گرفته شدند (ملویل، ۱۹۹۲). همچنین با توجه به اینکه آبستگي موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات از بالادست به داخل حفره آبستگي اطراف پایه و تکیه‌گاه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی باشد. برای به دست آوردن سرعت بحرانی، ابتدا سرعت برشی بر اساس روابط به دست آمده از منحنی شیلدز ۰/۰۲ متر بر ثانیه به دست آمد سپس با توجه به توصیه ملویل و ساترلند (۱۹۸۸) مقدار سرعت بحرانی از رابطه زیر برابر با ۰/۳۴۸ متر بر ثانیه محاسبه شد:

$$U_c = 5.75 u_{*c} \log(5.53 \frac{y}{d_{50}}) \quad (4)$$

U_c : سرعت بحرانی، u_{*c} : سرعت برشی، y : عمق جریان و d_{50} : قطر متوسط رسوب می‌باشد. با توجه به بررسی رادکیوی^۴ (۱۹۹۸)، هنگامی شرایط آب زلال ایجاد می‌شود که نسبت سرعت متوسط جریان به سرعت بحرانی مساوی یا کمتر از ۰/۹۵ باشد که این نسبت در کلیه آزمایش‌ها ۰/۹ در نظر گرفته شد. از این رو در این تحقیق از سرعت متوسط ۰/۳۱۳ متر بر ثانیه و دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه استفاده شد. مدت زمان آزمایش نیز، بر اساس معیار کومار و همکاران^۵ (۱۹۹۹) در نظر گرفته شد که برابر بود با مدت زمانی از انجام آزمایش که پس از آن تغییرات عمق آبستگي در یک بازه ۳ ساعته کمتر از ۱ میلی‌متر باشد.

به همین منظور یک آزمایش ۲۴ ساعته روی پایه پل در دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه در شرایط عادی (شاهد) انجام شد. با توجه به شکل (۴) مشاهده می‌شود که در هفت ساعت اول بیش از ۹۸ درصد (۱۳۲ میلی‌متر) آبستگي رخ می‌دهد. بنابراین در کلیه آزمایش‌ها، زمان تعادل هفت ساعت در نظر گرفته شد که در این تحقیق D_s : عمق آبستگي و D : قطر پایه می‌باشد.

تکیه‌گاه می‌باشند. از این رو در این تحقیق سعی شده آبستگي در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل در دو فاصله ۱۷/۵ و ۳۵ سانتی متری نسبت به سیلاب دشت مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز که مجهز به یک کانال مائندری به طول ۴۵ متر با کف بتنی به شیب ۰/۰۰۱ و با دیواره فولادی به ارتفاع ۰/۴۵ متر و عرض ۱/۲ متر می‌باشد، انجام شد. در شکل (۳-الف) کانالی که در آن آزمایش‌ها صورت گرفته نشان داده شده است. با توجه به این که پل‌ها معمولاً در مسیر مستقیم رودخانه احداث می‌شوند آزمایش‌ها نیز در قسمت مستقیم این کانال صورت گرفت. همچنین با در نظر گرفتن این نکته که تکیه‌گاه‌ها عموماً بر روی سیلاب دشت رودخانه قرار می‌گیرند مقطع مورد آزمایش توسط صفحات فلزی مطابق شکل (۳-ب) به صورت کانال مرکب درآورده شد.

به طوری که طول کانال مرکب ۸ متر، عرض سیلاب دشت ۰/۵ متر و عرض کف مقطع اصلی کانال ۰/۶ متر بود و توسط یک شیب ۱ به ۱ به سیلاب دشت متصل می‌گشت. فاصله ابتدای کانال مرکب تا مخزن ۲۲ متر و فاصله انتهایی آن تا دریچه ۱۵ متر در نظر گرفته شد تا جریان کاملاً توسعه یافته در کانال ایجاد شود. همچنین طول مقطع رسوبی آزمایش ۲ متر، عرض آن ۰/۶ متر و ارتفاع آن ۰/۲۲ متر در نظر گرفته شد. برای اینکه تفاوت زبری میان بستر رسوبات و صفحات فلزی قرار داده شده در کانال روی عمق آبستگي بی اثر باشد لایه نازکی از رسوبات به وسیله چسب رو این صفحات چسبانده شد. با توجه به اینکه زبری سیلاب دشت رودخانه معمولاً به دلیل وجود پوشش

گیاهی بیش‌تر از مقطع اصلی آن می‌باشد. به همین منظور قلوه سنگ‌هایی با قطر متوسط ۴ سانتی‌متر به صورت زیگ‌زاگ بر روی سیلاب دشت چسبانده شد و با اندازه‌گیری سرعت در روی سیلاب دشت و مقطع اصلی کانال و با استفاده از معادله مانینگ، مقدار ضریب زبری مانینگ در سیلاب دشت (۰/۰۳) و مقطع اصلی کانال (۰/۱۴) برای شرایط بستر دارای آب زلال به دست آمد (هيو و همکاران، ۲۰۰۶) به گونه‌ای که این میزان زبری محاسبه شده بر روی سیلاب دشت با زبری کانال‌های پوشیده شده از خزه و علف‌های خشک با تراکم متوسط برابری می‌کرد (بی نام، ۱۳۷۱). برای اندازه‌گیری دبی از دبی‌سنج الکتریکی و برای تنظیم آب از دریچه کنسویی مستطیلی استفاده شد. اندازه‌گیری تغییرات بستر نیز توسط یک ارتفاع‌سنج لیزری با دقت یک میلی‌متر انجام شد. به توصیه رادکیوی و اتما^۵ (۱۹۸۳) برای جلوگیری از پدیده ریپل قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد و نسبت قطر پایه به متوسط ذرات باید بیش از ۲۵-

3- Melville and Sutherland.

4- Raudkivi

5- Kumar et al.

1-Hua et al.

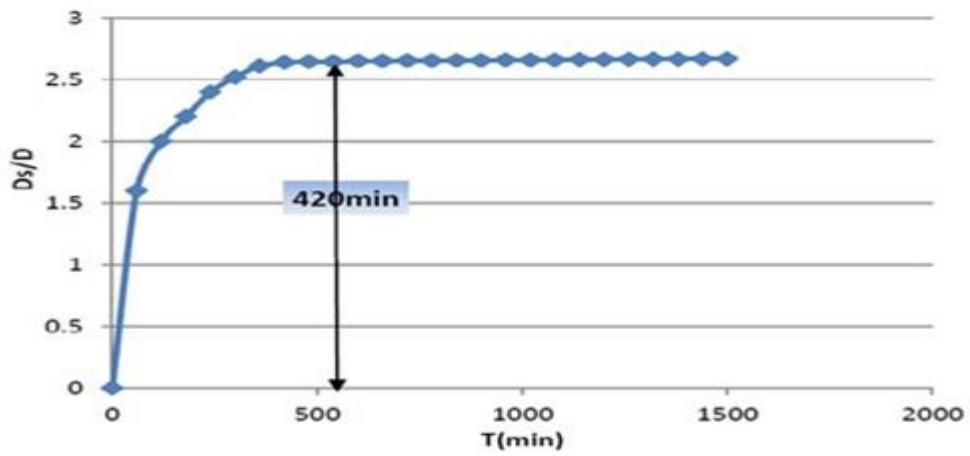
2- Raudkivi and Ettema.



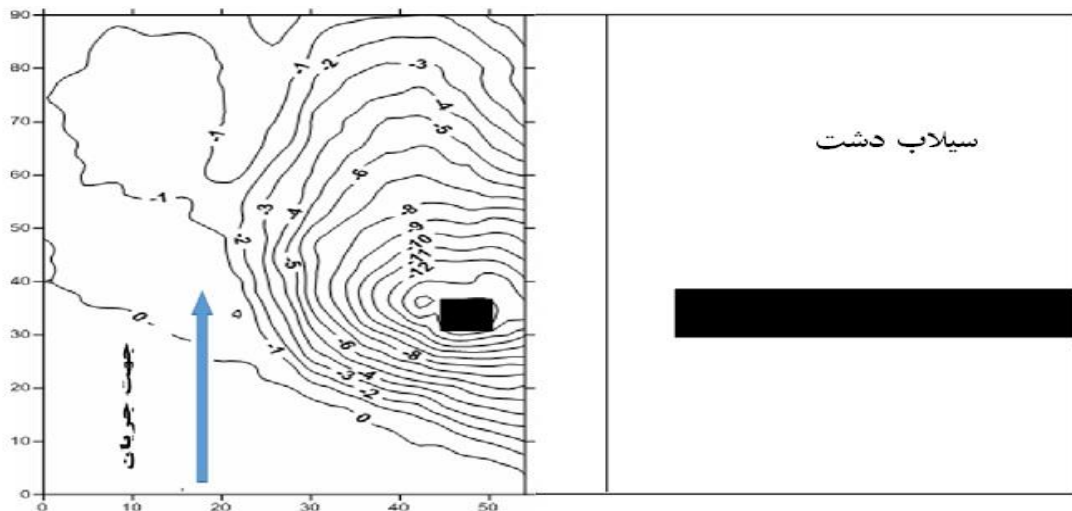
ب- نمایی از مقطع مرکب کانال آزمایش



شکل ۳-الف) کانال مورد آزمایش



شکل ۴- نمودار مربوط به مدت زمان آزمایش



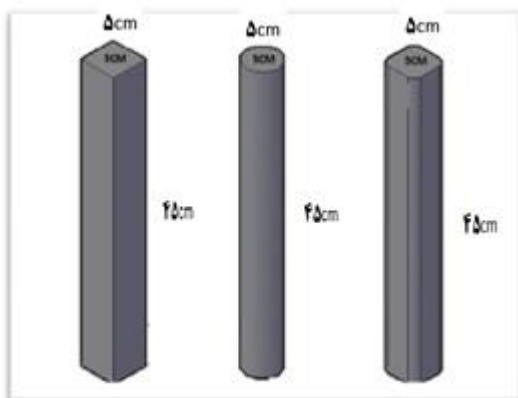
شکل ۵- تغییرات توپوگرافی حفره آبستگي تکیه گاه ۳۷/۵ سانتی متری و پایه نوک تیز در فاصله ۱۷/۵ سانتی متری سیلاب دشت

عرب و زمردیان: اثر متقابل پایه و تکیه‌گاه پل بر آبشستگی موضعی...

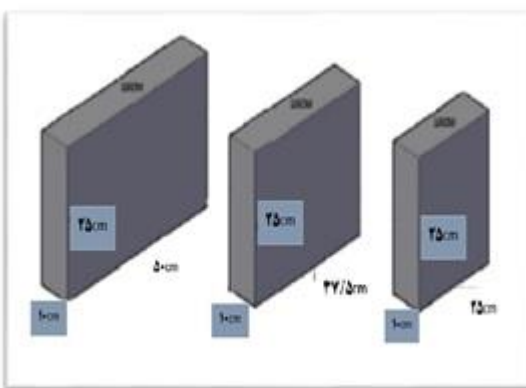
نشان داده شده است. برای بررسی تأثیر طول تکیه‌گاه بر روی آبشستگی آن، از سه اندازه تکیه‌گاه به طول‌های ۵۰ سانتی‌متر (برابر با طول سیلاب دشت)، ۳۷/۵ سانتی‌متر (۳/۴ طول سیلاب دشت) و ۲۵ سانتی‌متر (نصف طول سیلاب دشت) مطابق با شکل (۶-الف) استفاده شد. برای تعیین اثر شکل پایه بر روی آبشستگی، از سه پایه با مقطع‌های دایره‌ای، مربعی گرد گوشه و مربعی نوک تیز استفاده شد. با توجه به توصیه ملویل (۱۹۹۲) قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد به همین دلیل قطر پایه ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در شکل (۶-ب) شکل‌های مختلف پایه نشان داده شده است. همچنین در کلیه آزمایش‌ها، پایه‌ها در دو فاصله ۳۵ سانتی‌متر (نصف عرض مقطع اصلی کانال) و ۱۷/۵ سانتی‌متر (۱/۴ عرض مقطع اصلی کانال) نسبت به سیلاب دشت قرار داده شد تا اثر آن بر آبشستگی تکیه‌گاه بررسی شود. در شکل (۷) نمای شماتیک نحوه قرارگیری پایه و تکیه‌گاه در نزدیکی هم آورده شده است.

برای برداشت تغییرات توپوگرافی در حین آزمایش و در شرایطی که آب در کانال جریان داشت از دستگاه عمق‌سنج استفاده شد. برای برداشت توپوگرافی بعد از آزمایش، اطراف پایه و تکیه‌گاه به فاصله دو سانتی‌متر در دو سانتی‌متر مش‌بندی شد. پیش از راه‌اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریبیل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه‌اندازی و به آرامی به دبی مورد نظر رسانده و سپس با تنظیم دریچه پایین دست عمق جریان ۱۵ سانتی‌متری (عمق آب روی سیلاب دشت ۵ سانتی‌متر) حاصل شد.

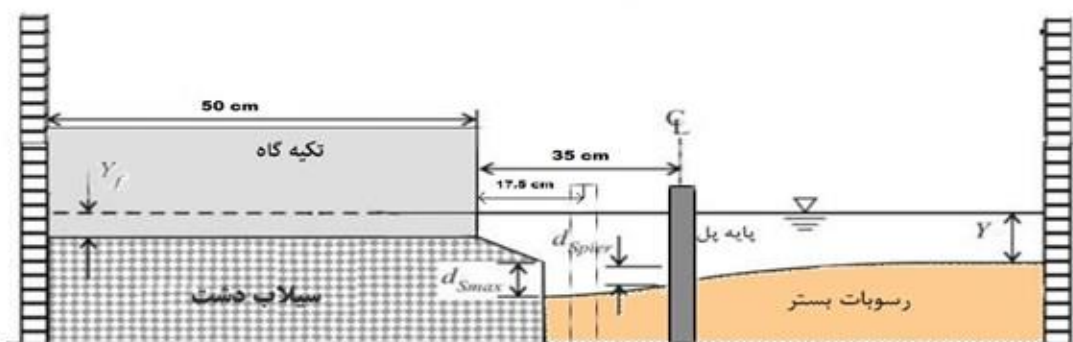
پس از هر آزمایش پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی و تأثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب درون کانال تغییرات بستر به وسیله متر لیزری اندازه‌گیری شد. در شکل (۵) نمونه‌ای از تغییرات توپوگرافی اطراف پایه و تکیه‌گاه پل



ب) اشکال مختلف پایه



شکل ۶-الف) اندازه‌های مختلف تکیه‌گاه



شکل ۷- نمای شماتیک نحوه قرارگیری پایه و تکیه‌گاه در نزدیکی هم

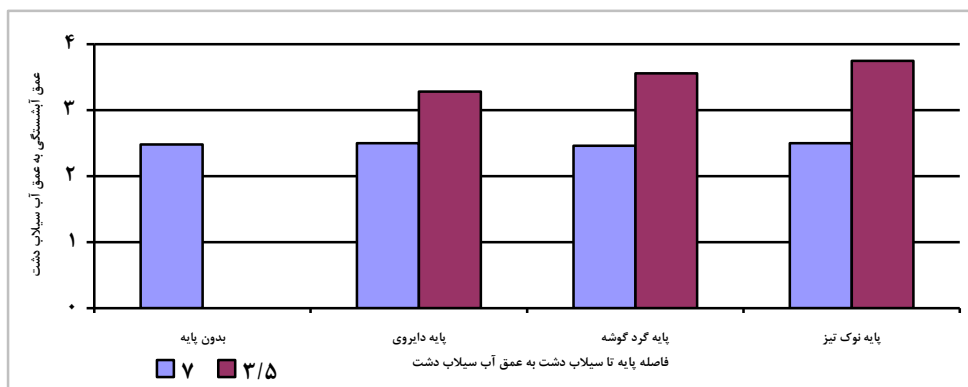
نتایج و بحث

در کلیه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف پایه و تکیه‌گاه، گردابه‌ها تشکیل و آبشستگی با سرعت بسیار بالا آغاز شد. با شکل‌گیری حفره آبشستگی رسوب‌های برخاسته از حفره به سمت پایین دست منتقل شدند. پس از مدتی از شروع آزمایش رسوبات انتقالی از حفره آبشستگی تحت تأثیر جریان ثانویه به سمت پایین دست منتقل شده و تعدادی شیارهای کوچک در اطراف پایه و تکیه‌گاه تشکیل شد. لازم به ذکر است با توجه به این که سرعت جریان آب بر روی سیلاب دشت رودخانه-ها، معمولاً به دلیل وجود پوشش گیاهی کمتر از مقطع اصلی آن می‌باشد و در نتیجه فرسایش کمتری بر روی سیلاب دشت ایجاد می‌شود، بنابراین در این تحقیق با فرض غیر قابل فرسایش بودن سیلاب دشت، عمق آبشستگی تکیه‌گاه در مقطع اصلی کانال بررسی شده است.

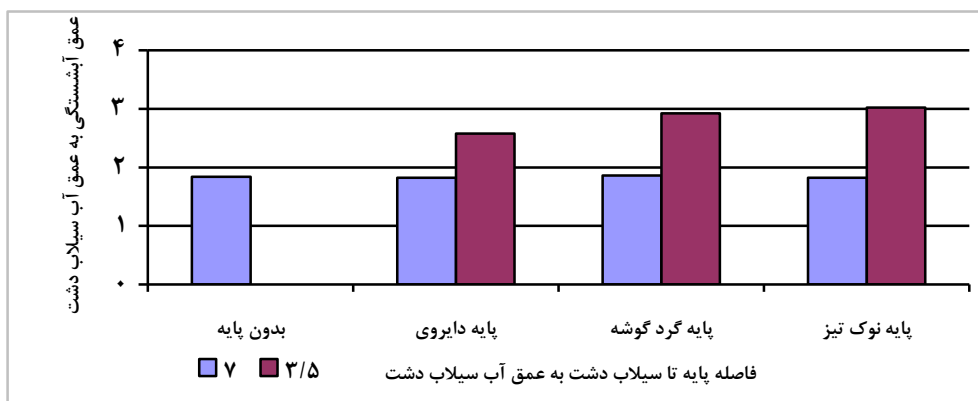
الف) تأثیر فاصله پایه از سیلاب دشت بر روی آبشستگی تکیه‌گاه همان طور که در شکل‌های (۸)، (۹) و (۱۰) نشان داده شده است با کاهش فاصله بین پایه و تکیه‌گاه همانطور برای هر سه تکیه‌گاه آبشستگی به میزان قابل توجهی افزایش داشته است به گونه‌ای که به عنوان نمونه با کاهش فاصله بین پایه لبه تیز و سیلاب

دشت از ۳۵ به ۱۷/۵ سانتی متر برای تکیه‌گاه ۵۰ سانتی متری، عمق آبشستگی این تکیه‌گاه، ۵۰ درصد افزایش یافته است. این افزایش عمق آبشستگی می‌تواند به دلیل کاهش فاصله خطوط جریان بین پایه و تکیه‌گاه پل باشد زیرا با کاهش فاصله بین این خطوط، سرعت جریان در این ناحیه افزایش یافته و در نتیجه قدرت فرسایشی جریان نیز افزایش می‌یابد.

ب) تأثیر شکل پایه بر روی آبشستگی تکیه‌گاه پل همان طور که در شکل‌های (۸)، (۹) و (۱۰) نشان داده شده است شکل پایه بر روی آبشستگی تکیه‌گاه در فاصله ۱۷/۵ سانتی متری سیلاب دشت تأثیرگذار بوده است. به گونه‌ای که برای پایه استوانه‌ای کمترین آبشستگی و برای پایه مربعی نوک تیز بیش‌ترین آبشستگی به دست آمده است. در حالی که در فاصله ۳۵ سانتی متری سیلاب دشت، شکل پایه تأثیر قابل توجهی بر روی عمق آبشستگی تکیه‌گاه نداشته است. علت این امر این است که پایه مربعی نوک تیز در مقایسه با پایه استوانه‌ای، باعث جداشدگی بیشتر خطوط جریان می‌شود که در نتیجه گرداب نعل اسبی با شدت بیشتری در اطراف آن ایجاد می‌شود. همچنین با نزدیک شدن پایه به تکیه‌گاه خطوط جریان اطراف تکیه‌گاه و پایه بر روی هم منطبق شده و باعث افزایش عمق آبشستگی تکیه‌گاه می‌شود.

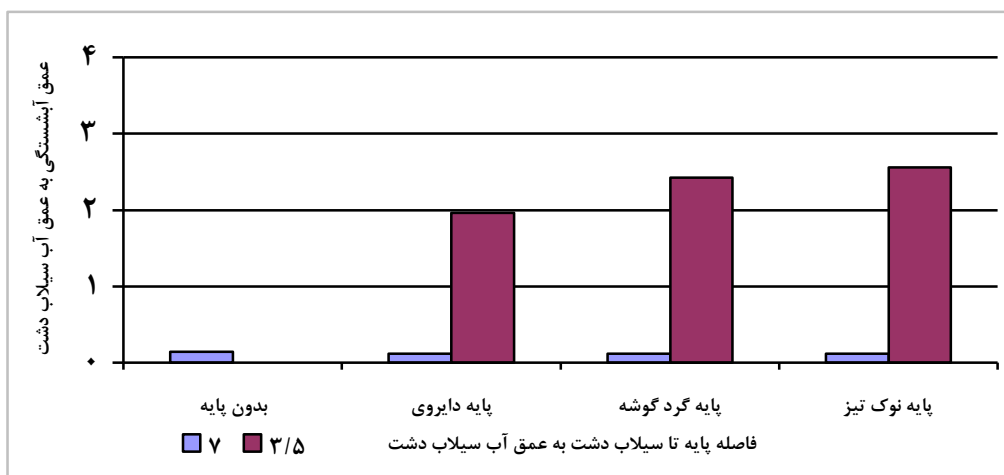


شکل ۸- تأثیر فاصله پایه از سیلاب دشت بر روی آبشستگی تکیه‌گاه ۵۰ سانتی متر

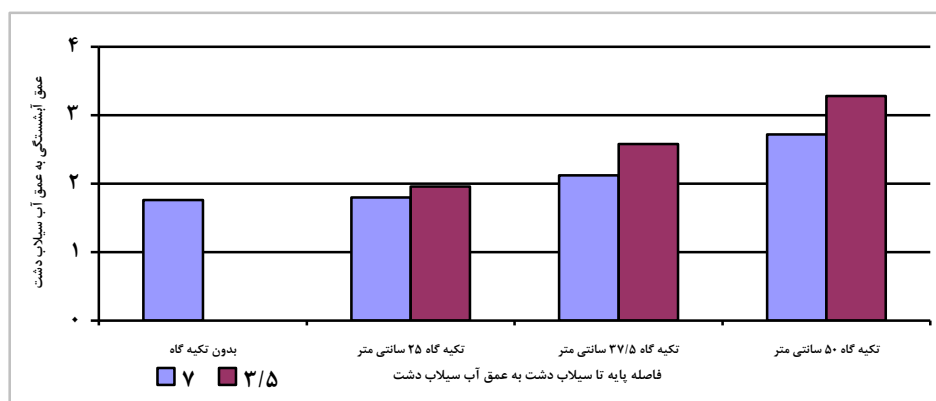


شکل ۹- تأثیر فاصله پایه از سیلاب دشت بر روی آبشستگی تکیه‌گاه ۳۷/۵ سانتی متر

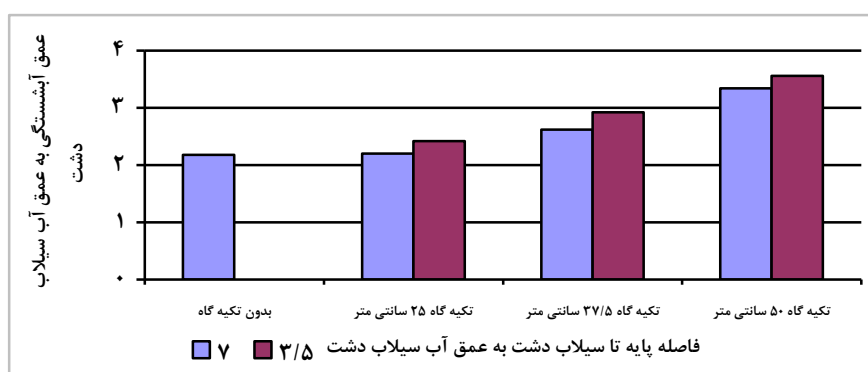
عرب و زمردیان: اثر متقابل پایه و تکیه گاه پل بر آبخستگی موضعی...



شکل ۱۰- تأثیر فاصله پایه از سیلاب دشت بر روی آبخستگی تکیه گاه ۲۵ سانتی متر



شکل ۱۱- تأثیر فاصله پایه از سیلاب دشت در حضور تکیه گاه بر روی آبخستگی پایه دایروی



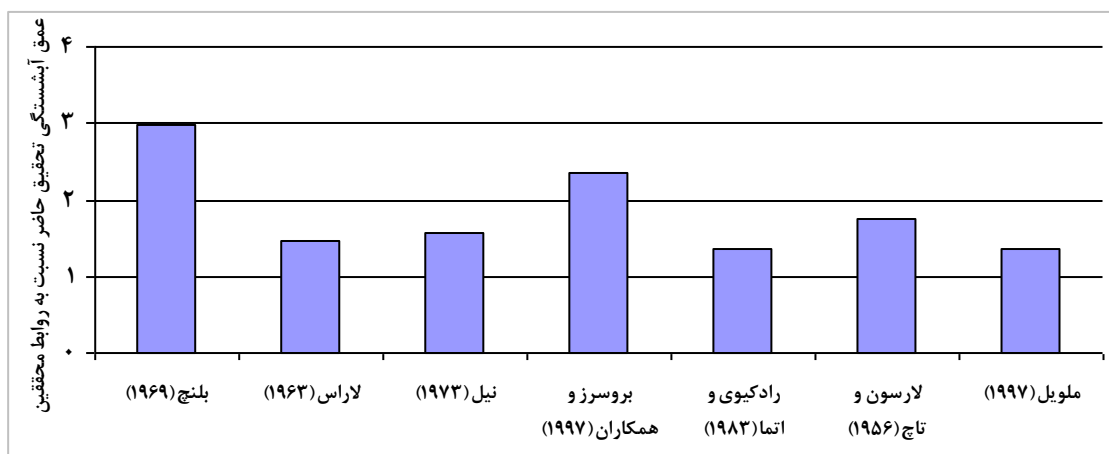
شکل ۱۲- تأثیر فاصله پایه از سیلاب دشت در حضور تکیه گاه بر روی آبخستگی پایه گرد گوشه

سانتی متری، آبخستگی پایه لبه تیز نسبت به حالت پایه تنها در حدود ۶۱ درصد افزایش یافته است. همچنین مشاهده می شود که طول تکیه گاه بر روی آبخستگی پایه برای هر دو فاصله ۱۷/۵ و ۳۵ سانتی متر نسبت به سیلاب دشت تأثیرگذار بوده است به گونه ای که تکیه گاه ۵۰ سانتی متری بیشترین تأثیر و تکیه گاه ۲۵ سانتی متری کمترین تأثیر را دارا می باشد.

پ) تأثیر فاصله پایه تا سیلاب دشت در حضور تکیه گاه بر روی آبخستگی پایه همانطور که در شکل های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است با کاهش فاصله بین پایه و تکیه گاه، برای هر سه شکل پایه آبخستگی به میزان قابل توجهی افزایش یافته است به گونه ای که به عنوان نمونه با نزدیک کردن پایه لبه تیز به تکیه گاه ۵۰



شکل ۱۳- تأثیر فاصله پایه از سیلاب دشت در حضور تکیه گاه بر روی آبستگي پایه نوک تیز

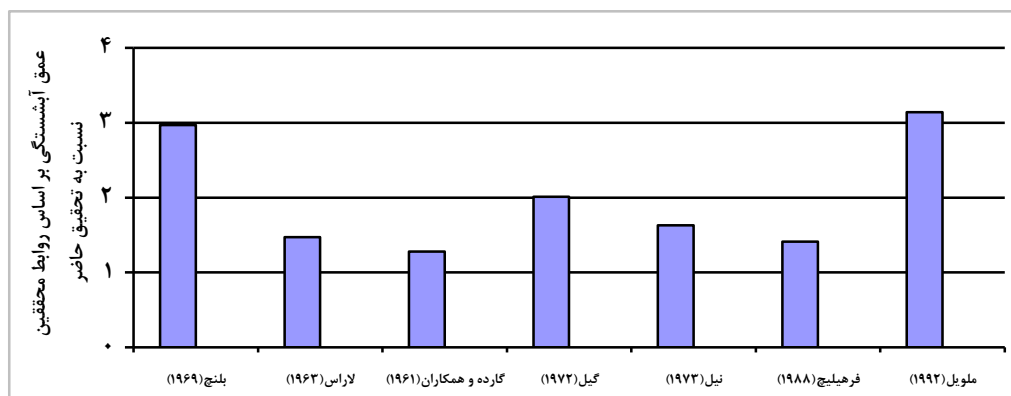


شکل ۱۴- مقایسه حداکثر عمق آبستگي پایه دایره‌ای در فاصله ۱۷/۵ سانتي متری سیلاب دشت و در حضور تکیه گاه ۵۰ سانتي متر در تحقیق حاضر با روابط سایر محققين

به این شکل مشاهده می‌شود که عمق آبستگي تکیه گاه پل به دست آمده از این تحقیق حتی در فاصله نزدیک پایه نسبت به سیلاب دشت (۱۷/۵ سانتي متر) بسیار کمتر از عمق‌های آبستگي محاسبه شده توسط محققان مختلف بوده است. علت این امر این است که اکثر روابط تخمین عمق آبستگي در اطراف تکیه گاه‌های پل، برای حالتی است که تکیه گاه در مقطع اصلی کانال قرار دارد این در حالی است که در عمل معمولاً تکیه گاه‌ها بر روی سیلاب دشت رودخانه‌ها ساخته می‌شوند. در نتیجه فرمول‌های تخمین عمق آبستگي تکیه گاه پل قرار داده شده در مقطع اصلی کانال نمی‌تواند برآورد مناسبی از عمق آبستگي تکیه گاه ساخته شده بر روی سیلاب دشت داشته باشد.

ت) مقایسه عمق آبستگي به دست آمده در این تحقیق با نتایج سایر محققين در شکل (۱۴) برای نمونه، عمق آبستگي اطراف پایه استوانه‌ای در فاصله ۱۷/۵ سانتي متری سیلاب دشت در حضور تکیه گاه ۵۰ سانتي متر با روابط محققان مختلف مقایسه شده است. با توجه به این شکل این نتیجه حاصل می‌شود که روابط مختلف تخمین عمق آبستگي پایه پل تأثیر فاصله پایه از تکیه گاه را در نظر نگرفته‌اند به گونه‌ای که با نزدیک شدن پایه به تکیه گاه، عمق آبستگي در پایه افزایش یافته و در نتیجه روابط موجود نمی‌توانند تخمین مناسبی از عمق آبستگي پایه پل داشته باشند. در شکل (۱۵) نیز برای نمونه حداکثر عمق آبستگي تکیه گاه ۳۷/۵ سانتي متر برای پایه نوک تیز در فاصله ۱۷/۵ سانتي با توجه

عرب و زمردیان: اثر متقابل پایه و تکیه گاه پل بر آبشستگی موضعی...



شکل ۱۵- مقایسه حداکثر عمق آبشستگی تکیه گاه ۳۷/۵ سانتی متری برای پایه نوک تیز در فاصله ۱۷/۵ سانتی متری سیلاب دشت با روابط محققین مختلف در مقطع اصلی کانال

آبشستگی تکیه گاه تأثیرگذار است به گونه ای که برای پایه دایره ای کمترین آبشستگی و برای پایه مربعی لبه تیز بیشترین آبشستگی ایجاد می شود در حالی که در فاصله ۳۵ سانتی متری سیلاب دشت، شکل پایه تأثیری بر روی آبشستگی تکیه گاه ندارد. طول تکیه گاه بر روی آبشستگی پایه تأثیرگذار است به گونه ای که تکیه گاه ۵۰ سانتی متری بیشترین تأثیر و تکیه گاه ۲۵ سانتی متری کمترین تأثیر را دارا می باشد.

نتیجه گیری

با توجه به مطالب گفته شده می توان نتایج زیر را گرفت:
 - طول تکیه گاه فاکتور بسیار مهمی بر روی آبشستگی آن می باشد به طوری که با دو برابر شدن این طول (از ۲۵ به ۵۰ سانتی متر) آبشستگی در حدود ۱۸ برابر افزایش می یابد.
 - با نزدیک شدن پایه به تکیه گاه برای هر سه تکیه گاه آبشستگی افزایش می یابد.
 - شکل پایه در فاصله ۱۷/۵ سانتی متری سیلاب دشت بر روی

منابع

- ۱- بی نام، ۱۳۷۱. راهنمای تعیین ضریب زبری رودخانه ها و کانال های هیدرولیکی. شماره ۲۶۰. انتشارات سازمان برنامه ریزی و بودجه کشور.
- ۲- خادمی، خ. و م. شفاعی بجنستان ۱۳۹۳. بررسی اثر تعداد، موقعیت و زاویه ی صفحات مستغرق در محل تکیه گاه پل بر عمق آبشستگی، مجله پژوهش آب ایران، دانشگاه شهرکرد ۸(۱۵): ۱۴۵-۱۵۳
- ۳- عقلی، م. و س.م. ع. زمردیان ۱۳۹۱. تأثیر توأم طوق و کابل بر روی عمق آبشستگی اطراف پایه پل در قوس رودخانه ها مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۳۶(۳): ۱-۱۰
- ۴- منصوری هفشجانی، م. و م. شفاعی بجنستان ۱۳۹۰. طراحی قطر سنگ چین در اطراف تکیه گاه پل واقع در قوس رودخانه، مجله مهندسی آبیاری و آب، سال اول، (۴): ۳۵-۴۵.
- 5--Blench, T.1969. Mobile bed fluviology. University of Alberta Press, Edmonton.
- 6- Breusers, H.N.C., Nicollet, G., and H.W. Shen 1997. Local scour around cylindrical piers. Journal of Hydraulic Research., IAHR 15(3):211-252.
- 7- Croad, R. .N. 1989. Investigation of pre-excitation of the abutment scour hole at bridge abutments. Report No. 89-A9303. Central Laboratories, Wellington, New Zealand.
- 8- Ettema, R. 1980. Scour at Bridge Piers. Report No. 216, University Of Auckland, School Of Engineering, The University of Auckland, Auckland, New Zealand.
- 9- Froehlich, D. C. 1988. Analysis of on site measurements of scour at pier. Journal of Hydraulic Engineering. 101(4):534-539.

- 10- Garde, R.J., Subramanya, K., and Nambudripad, K.D. 1961. Study of scour of scour around spur-dikes. *Journal of the Hydraulics Division*, 87(6):23-37.
- 11- Gill, M.A. 1972. Erosion of sand beds around spur-dikes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 98(4):1587-1602.
- 12- Grimaldi, C., Gaudio, R., Caloino, F. and A. H. Cardoso, 2009). Countermeasure against local scouring at bridge piers: Slot and combined system of slot and bed sill. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(5): 425-431.
- 13- Hong, S. 2005. Interaction of bridge contraction scour and pier scour in a laboratory river model. M.Sc. Thesis, Civil and Environmental Engineering Department, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- 14- Hua, L., Kuhnle, R.A. and B.D. Bardoll, 2006. Countermeasures against scour at abutments. *National Sedimentation Laboratory, USDA, Agricultural Research Service, NO.49*.
- 15- Kumar, V., Rang Raju, K. G. and N. Vittal, 1999. Reduction of local scour around bridge pier using slots and collar. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(2):132-135.
- 16- Larras, J. 1963. Profondeurs maximales d'erosion des fonds mobiles autour des piles en riviere. *Ann.ponts et chaussées*, 133(4):411-424.
- 17- Laursen, E. M. and A. Toch, 1956. Scour around bridge piers and Abutments. *Iwoa Highways Research Board, Ames, Iowa*.
- 18- Lauchlan. C., S. 1999. Pier scour countermeasures. Ph. D, Thesis, University of Auckland, NZ.
- 19- Li, H., Barkdoll, B. D., Kuhnle, R. and C. Alonso, 2006. Parallel walls as an abutment scour countermeasure: *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(5):510-520.
- 20- Masjedi, A., Shafaei Bejestan M. and A. K. Esfandi, 2010. Reduction of local scour at a bridge pier fitted with a collar in a 180 degree flume bend (Case study: oblong pier): *Journal of Hydrodynamics*, 22(5): 669-673.
- 21- Melville, B.W. 1992. Local scour at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(4): 615-626.
- 22- Melville, B.W. 1997. Pier and abutment scour –an integrated approach. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(2): 125-136.
- 23- Melville, B.W., and M. Sutherland, 1988. Design method for local scour at bridge pier. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(10): 70-82.
- 24- Neill, C. R. 1973. *Guide to bridge hydraulics*. Roads and Transportation Association of Canada, University of Toronto Press, 191p.
- 25- Oben-nyarko, K., and R. Ettema, 2011. Pier and abutment scour interaction. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(12): 1598-1605.
- 26- Radice, A. and Davari, V. (2014), Roughening elements as abutment scour countermeasures. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 140(8).
- 27- Raikar, V.R. and S. Dey, 2009. Maximum scour depth at pier in armor beds. *Journal of Civil Engineering*, 13(2): 137-142.
- 28- Raudkivi, A.J. 1998. *Loose boundary hydraulics*. Rotterdam, The Netherlands : A.A. Balkema.

عرب و زمردیان: اثر متقابل پایه و تکیه گاه پل بر آبستگى موضعی...

29-Raudkivi, A.J., and R. Ettema, 1983. Clear water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3): 338-349.