

# Scouring around the middle-square pier of the bridge due to the change in abutment length and vegetation in the floodplain, a laboratory study

Mojtaba Saneie<sup>1\*</sup> and Milad Nokhbe Zaeim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Master Student, Department of civil engineering, Islamic Azad University, Tehran Center Branch, Tehran, Iran

\*Corresponding Author: [Drsaneie@gmail.com](mailto:Drsaneie@gmail.com)

Received: 7 Nov. 2021

Accepted: 6 March 2022



Homepage: [ijwer.uoz.ac.ir](http://ijwer.uoz.ac.ir)

**Abstract:** In the present laboratory study, the percentage of channel width reduction due to changes in the length of the abutment and the percentage of vegetation in the floodplain on the scour of the middle pier of the bridge in the main section of the flow have been studied. The experiments were performed in a trapezoidal channel of 1.5 m wide, 17 m long, a floor width of 30 cm, and a side slope of 45°. The equilibrium time of the experiments was considered 3 hours. The results show that with increasing the percentage of vegetation, the scour depth of the bridge pier increases. For example, along an 8 cm abutment, increasing vegetation from 2% to 4% increases the scour depth by 57%. As the length of the bridge abutment increases, the depth and volume of the scour increase.

**Keywords:** Scour; Bridge pier; Abutment; Vegetation cover; Floodplain

**Introduction:** Scouring is the erosion around structures that occurs due to complex eddy currents and creates a pit around the supporting foundations of structures (Melville, 1997). Depth of scour plays a vital role in 1) the degree of the potential destruction of flow around the structure and 2) designing the dimensions of the foundation of structures in the path of water flow. Therefore, determining the mathematical relationship between scour depth and affecting parameters (Barbhuiya and Dey, 2004) and understanding the scour mechanism around bridge piers, and accurately estimating scour depth for more and better protection of bridge piers against this phenomenon (Breusers et al., 1977) is of great importance. Numerous comprehensive studies have been performed since 1953 to identify the effect of various factors on scouring rate and determine its estimation methods (Laursen and Toch, 1953; Melville, 1995; Garde and Raju, 2000).

To date, researchers have studied the effect of geometric and hydraulic parameters (Sturm and Sadiq, 1996; Kouchakzadeh, 2000; Jordanova and James, 2003) and effective vegetation (Young et al., 1993; Amir et al., 2018) on scouring, but the simultaneous effect of changing the length of abutments and vegetation on the amount of middle pier scour has been less considered. Therefore, in this study, the amount of scour around the middle pier of the bridge in compound sections in case of simultaneous change of abutment length and vegetation has been investigated.

**Materials and Methods:** Normalized parameters significantly deepen the understanding of various physical phenomena and allow the results of limited experiments to be applied to different situations. In this study, the maximum scour depth ( $d_s$ ) was selected as the primary variable and expressed as equation (1) in terms of effective parameters. Then, considering the parameters  $g$ ,  $\gamma$ ,  $g_s$  as iterative variables, using Buckingham  $\pi$ -theorem, equation (1) was written as a dimensionless relation (2). Because the amount of channel slope, unit weight of sediments, uniformity coefficient and average diameter of materials, velocity and depth of flow, and length of bridge pier are constant in all tests; normalized parameters  $S_0$ ,  $\sigma_g$ ,  $d_{50}/\gamma$ ,  $\rho_s/\rho$  and Froude number were removed. By simplifying and combining other parameters, dimensionless relations for degree of scour depth and volume were obtained as equations (3) and (4).

A trapezoidal laboratory channel made at the Water Research Institute, Fig. 1, was used for the experiments. The central pier of the bridge around which the scour was examined has a square cross-section with sides of 4 cm. Abutments on both sides of the channel were provided in 8, 16, and 24 cm sizes. Vegetation was studied using non-submerged cylinders in diameter and length of 1 and 20 cm respectively applied in rows in areas of 1, 2, and 4% of the floodplain area. Fig. 2 shows the image of the laboratory channel. Experiments were performed in two time intervals of 3 and 8 hours to obtain equilibrium time and maximum scouring.

**Results and Discussion:** A total of 9 experiments were performed in which the depth and volume of scouring were determined. To name each experiment, the vegetation and abutment length were marked respectively with V and A. For example, V%1A80 refers to an experiment with 1% vegetation and an abutment of 80 mm length.

Fig. 3 shows the changes in the longitudinal profile of the bed after scouring in different conditions of vegetation and the length of the abutment. Increase in the abutment length increased the height of material accumulation in all experiments. Increasing the percentage of vegetation leads to an increase in the volume of material accumulation in all samples due to increased bed roughness and turbulence of the flow and enlargement of the scour cavity. Also, it is observed that with increasing the percentage of vegetation and the length of the abutment, the length of scouring (after the hole in the direction of flow) increases.

Fig. 4 shows that the depth and volume of scouring increases with increasing vegetation percentage. The highest scour volume occurred in 4% vegetation (the densest vegetation condition studied), which results in 9.2 cm and 7031 cm<sup>3</sup> for experiments V%4A160 and V%4A240, respectively. The lowest scour depth and volume values were related to 1% vegetation and V%1A80 test, which are 4.1 cm and 766 cm<sup>3</sup>, respectively. Increasing the vegetation from 1 to 2% and from 2 to 4%, the scour depth at the pier of the bridge (with length and width 4 cm and 8 cm abutment length) increases by 14 and 57%, respectively, i.e., the scour volume, respectively increases 3.2. And 1.9 times.

As the relative length of the abutment increases, the rate of deflection and the intensity of the flow in the main channel increase, after which the amount of scouring around the middle pier increases. As the percentage of vegetation in the floodplain becomes denser, the bed roughness increases, and the flow rate in the main channel increases, causing more scouring around the middle pier of the bridge (Figs. 5 and 6).

**Conclusion:** This study investigates the effect of flood vegetation and abutment length on the scouring depth and volume in a compound channel. This study shows that with increasing the percentage of vegetation, the scour depth at the pier of the bridge increases, and with increasing the length of the bridge abutment, the depth and volume of the scour increases. By the way, vegetation and abutment length percentages are the most influential parameters in creating scour depth and volume in which the former has more effect.

© 2022 University of Zabol, Zabol, Iran.



This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

# مطالعه آزمایشگاهی اثر طول تکیه‌گاه بر آبستگي اطراف پایه مربع شکل میانی پل با تغییر پوشش گیاهی در سیلابدشت

مجتبی صانعی<sup>۱\*</sup> و میلاد نخبه زعیم<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> دانشجوی گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نگارنده مسئول: [Drsaneic@Gmail.Com](mailto:Drsaneic@Gmail.Com)

وبگاه نشریه: [ijwer.uoz.ac.ir](http://ijwer.uoz.ac.ir)



تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

## چکیده

یکی از مهم‌ترین عامل آسیب و تخریب پل‌ها در دنیا، آبستگي در اطراف پایه و دیواره‌های کناری آن‌ها است. در تحقیق حاضر، اثر متقابل مقطع مرکب و تغییر وضعیت همگرایی سیلابدشت توسط تکیه‌گاه‌های پل و همچنین اثر پوشش گیاهی بر میزان آبستگي پایه میانی پل در مقطع اصلی جریان مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار گرفته است. آزمایش‌ها در یک کانال به عرض ۱/۵ متر و طول ۱۷ متر با مقطع مرکب و عرض کف ۳۰ سانتی‌متر و شیب کناری ۴۵ درجه انجام شد. عمق جریان در کانال اصلی و سیلابدشت به ترتیب ۱۸ و ۸ سانتی‌متر و زمان تعادل آزمایش‌ها ۳ ساعت در نظر گرفته شد. درصد تنگ‌شدگی به واسطه تغییر طول تکیه‌گاه و درصد پوشش گیاهی در سیلابدشت به‌عنوان متغیرهای اثرگذار در آبستگي اطراف پایه پل در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد پوشش گیاهی عمق آبستگي پایه‌ی پل افزایش یافته و به‌عنوان مثال در طول تکیه‌گاه ۸ سانتی‌متر افزایش پوشش گیاهی از ۱ به ۲ درصد و از ۲ به ۴ درصد به ترتیب سبب افزایش ۱۴ و ۵۷ درصدی در عمق آبستگي می‌شود. با افزایش طول تکیه‌گاه پل، عمق و حجم آبستگي افزایش می‌یابد همچنین پارامترهای درصد پوشش گیاهی و طول تکیه‌گاه به ترتیب بیشترین تأثیر را در ایجاد عمق و حجم آبستگي دارند.

**کلیدواژه‌گان:** آبستگي، پایه پل، تکیه‌گاه، پوشش گیاهی، سیلابدشت

## ۱- مقدمه

است که در آن سعی می‌شود رابطه‌ای ریاضی میان عمق آبستگي به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مؤثر بر این پدیده به دست آید (Barbhuiya and Dey, 2004). آبستگي به‌عنوان یک پدیده طبیعی به سبب جریان آب در رودخانه‌ها و در نتیجه کارکرد فرسایش دهنده آب در حال حرکت که باعث فرسایش و حمل مواد بستر و کناره‌های آبراهه‌ها و مجاورت سازه‌ها می‌شود، تعریف

امروزه مسئله آبستگي یکی از مسائل مهم در علم مهندسی رودخانه و مهندسی سواحل است به طوری که اکثر تخریب سازه‌های واقع یا مجاور سواحل رودخانه در اثر وجود این پدیده به وقوع می‌پیوندد. تعیین رابطه میان پارامترهای مؤثر بر عمق آبستگي و حداکثر مقدار آن و یافتن تابع حاکم از موضوعات مهم در مهندسی هیدرولیک

آبشستگی در اطراف پایه‌های پل ارائه شد. (Young et al., 1993) به بررسی الگوی جریان در مقطع مرکب با سیلاب‌دشت‌هایی با سه پوشش گیاهی علف، بوته و درخت پرداختند. در مورد پوشش گیاهی درخت در دشت سیلابی از موانع استوانه‌ای استفاده شد و نتایج نشان دادند در تمام اندازه‌گیری‌ها توزیع سرعت در جهت جریان از توزیع لگاریتمی تبعیت می‌کند؛ اما برای سیلاب‌دشت حاوی پوشش گیاهی دارای یک پرئوفیل به شکل S است که برای هر سه نوع پوشش متفاوت سرعت از یک توزیع نرمال پیروی می‌کند. (Kouchakzadeh, 2000) در آزمایش‌های خود به بررسی اثر انتقال اندازه حرکت بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت و تأثیر آن بر روی عمق آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها پرداختند. آن‌ها در آزمایش‌های خود برای ارزیابی اثر انتقال جانبی اندازه حرکت از دو نوع جریان متداخل و نامتداخل بهره گرفتند و نتایج آن‌ها نشان داد که در اعماق نسبی کم در مقاطع مرکب که انتقال جانبی اندازه حرکت شدید است میزان آبشستگی در جریان متداخل می‌تواند تا ۱۳ درصد نسبت به جریان نامتداخل افزایش داشته باشد. (Sturm and Sadiq, 1996) مطالعه آزمایشگاهی در شرایط آب زلال را برای محاسبه عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل با دیواره عمودی شکل انجام دادند. تکیه‌گاه پل موردنظر این محققین کاملاً در دشت سیلابی مقطع مرکب قرار گرفته شده بود. آن‌ها نشان دادند که نسبت دبی انقباض می‌تواند برای بیان اثر توزیع جریان روی آبشستگی موضعی تکیه‌گاه پل در مواقعی که پس‌زدگی جریان ناشی از انقباض در مقاطع پل رخ می‌دهد مورد استفاده قرار گیرد. (Amir et al., 2018) به بررسی آزمایشگاهی اثر پوشش گیاهی در ویژگی‌های آبشستگی اطراف دیواره‌ی کناری تکیه‌گاه پل پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که پوشش گیاهی در کانال باعث کاهش آبشستگی موضعی در اطراف تکیه‌گاه پل می‌شود. عمق آبشستگی در آزمایش‌های با پوشش گیاهی نصف عمق آبشستگی در حالت بدون پوشش گیاهی در اطراف تکیه‌گاه پل بود و زمان تعادل آبشستگی نیز در حالت با پوشش نسبت به حالت بدون پوشش ۲۴ درصد کاهش یافت. (Jordanova and James, 2003) به طور آزمایشگاهی حرکت بار کف را در یک فلووم پوشیده شده با

می‌شود. بنابراین می‌توان گفت آبشستگی در واقع یک نوع فرسایش در اطراف سازه‌ها است که در اثر جریان‌های پیچیده گردابی رخ داده و به صورت کلی باعث ایجاد یک گودال در اطراف پایه‌های نگهدارنده سازه‌ها می‌شود. مقدار کاهش تراز بستر از یک سطح مفروض طبیعی به عنوان پارامتر عمق آبشستگی نامیده می‌شود (Melville, 1997).

معمولاً منظور از سطح مفروض طبیعی همان سطح بستر رودخانه قبل از آغاز آبشستگی است. حفره آبشستگی نیز یک فضای خالی یا تورفتگی تعریف شده که هنگام شسته شدن رسوبات از بستر رودخانه یا آبراهه به وجود می‌آید. تعیین عمق آبشستگی از این جهت دارای اهمیت است که اولاً بیانگر میزان پتانسیل تخریب جریان در اطراف سازه بوده و ثانیاً در طراحی ابعاد فونداسیون سازه‌هایی که در مسیر جریان آب قرار دارند نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. بنابراین شناخت سازوکار آبشستگی اطراف پایه‌های پل و نیز برآورد دقیق عمق آبشستگی برای محافظت هرچه بیشتر و بهتر از پایه‌های پل در برابر این پدیده از اهمیت بالایی برخوردار است (Breusers et al., 1977).

با وجود آنکه پدیده تخریب پل‌ها به وسیله آبشستگی بستر رودخانه‌ها در اطراف پایه‌های این سازه یک موضوع تاریخی است اما مطالعات برای شناخت اثر عوامل مختلف و تعیین روش‌های برآورد میزان آبشستگی از اواخر دهه ۱۹۴۰ شروع شد. شاید بتوان مطالعات (Laursen and Toch, 1953) را اولین بررسی جامع در این زمینه دانست و در دهه ۱۹۵۰ و اوایل دهه ۱۹۶۰ مطالعات پدیده آبشستگی در اطراف پایه پل در دانشگاه ایالتی کلرادو متمرکز شد. این مطالعات توسط پژوهشگرانی مانند (Shen et al., 1966) انجام و در نهایت منجر به شناخت بهتر پدیده و پیشنهاد برخی روش‌های برآورد عمق آبشستگی شد. در همین دوره مطالعات (Garde and Raju, 2000) در هندوستان نیز منجر به ارائه روابط برای تخمین میزان عمق آبشستگی اطراف پایه‌های کناری شد. از سال ۱۹۷۵ مطالعات در این زمینه در دانشگاه آکلند نیوزلند متمرکز شد. مطالعات جامع (Melville, 1995) در دهه‌های گذشته منجر به جمع‌آوری گسترده‌ترین و باکیفیت‌ترین داده‌های آزمایشگاهی شد که بر اساس آن‌ها روابط مختلفی برای برآورد میزان عمق

شوند. هدف از آنالیز ابعادی شناخت پارامترهای مؤثر در پدیده مورد مطالعه و تعیین نسبت‌های بدون بعد و بیان ارتباط بین این نسبت‌ها است. پارامترهای متعددی در آبستگي پایه پل مؤثر می‌باشند. محققین عموماً از طریق آنالیز ابعادی به انتخاب پارامترهای مورد مطالعه پرداخته‌اند.

متغیرهای مستقل و مؤثر در این زمینه عبارت‌اند از:

۱. عوامل مربوط به هندسه کانال و سازه‌های مربوطه: عرض کانال ( $B$ )، شیب طولی کانال اصلی ( $S_0$ )، طول پایه پل ( $l$ )، عرض پایه پل ( $b$ )، طول تکیه‌گاه ( $A$ ) و درصد پوشش گیاهی ( $V$ ).

۲. عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: سرعت متوسط جریان در کانال ( $U$ ) و عمق جریان در کانال اصلی و دشت‌های سیلابی ( $y$ ).

۳. عوامل مربوط به مصالح بستر: قطر متوسط مصالح ( $d_{50}$ )، جرم مخصوص رسوبات ( $\rho_s$ ) و انحراف استاندارد توزیع اندازه مصالح ( $h_g$ ).

۴. عوامل مربوط به خواص سیال: جرم مخصوص سیال ( $\rho$ )، شتاب ثقل ( $g$ ) و لزجت سینماتیکی سیال ( $\nu$ ).

۵. با انتخاب حداکثر عمق آبستگي ( $d_{50}$ ) به عنوان متغیر وابسته، رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$d_s = f(B, S_0, l, b, A, V, U, y, d_{50}, \rho_s, \sigma_g, \rho, g, \nu) \quad (1)$$

روش  $\pi$  باکینگهام به طور گسترده برای تعیین پارامترهای بدون بعد مؤثر در پدیده‌های فیزیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این تحقیق از این روش استفاده شد. با در نظر گرفتن پارامترهای  $g, y, g$  به عنوان متغیرهای تکراری، شکل کلی رابطه (۱) را با استفاده از روش  $\pi$  باکینگهام، می‌توان به صورت رابطه (۲) نوشت:

$$\frac{d_s}{y} = f\left(\frac{B}{y}, S_0, \frac{l}{y}, \frac{b}{y}, \frac{A}{y}, V, \frac{U}{\sqrt{gy}}, \frac{d_{50}}{y}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{g^{1/2} y^{3/2}}{\nu}\right) \quad (2)$$

با ترکیب  $l/y$  با  $b/y$ ، پارامتر بی بعد  $l/b$  به دست می‌آید. همچنین با ترکیب  $\frac{g^{1/2} y^{3/2}}{\nu}$  و  $\frac{U}{\sqrt{gy}}$  پارامتر بی بعد  $\frac{Uy}{\nu}$  که

پوشش گیاهی به صورت میله‌های فلزی صلب غیر مستغرق با چیدمان شطرنجی مورد مطالعه قرار دادند. آنها تنش برشی کف را با استفاده از معادله ممنت در جریان یکنواخت و با کاستن نیروی کششی ناشی از المان‌های گیاهی از نیروی کل جریان محاسبه کردند.

یکی از دلایل اصلی تخریب پل، آبستگي اطراف پایه‌های میانی در مواقع سیلابی بوده و از جمله عوامل تأثیرگذار بر میزان و شدت آبستگي پایه میانی در پل‌ها، الگوی جریان نزدیک شونده است. این الگوی جریان نزدیک شونده به شدت تحت تأثیر هندسه و شرایط محیطی آبراهه بوده و وجود یک هندسه منظم و ساده باعث شده تا از پیچیدگی میان میدان و الگوی جریان در مجموع کاسته شود. آبراهه‌های موجود در طبیعت به ندرت دارای چنین هندسه‌های ساده و منظمی است به گونه‌ای که در مواقع سیلابی و سرریز شدن جریان در سیلاب‌دشت، آبراهه‌ها به صورت مقطع مرکب عمل کرده و پیچیدگی میدان و الگوی جریان را دوچندان خواهد کرد. لازم به توضیح است که به تأثیر طول تکیه‌گاه‌ها به عنوان پارامتر مهندسی بر میزان آبستگي پایه پل‌ها کمتر توجه شده است.

اکثر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی و تأثیر پوشش گیاهی مؤثر بر آبستگي توسط محققین مختلف به دفعات تحت شرایط مختلف مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته در حالی که بحث تأثیر توأمان تغییر طول تکیه‌گاه‌ها و همچنین پوشش گیاهی بر میزان آبستگي پایه میانی کمتر مورد توجه محققین بوده است. از این رو در این پژوهش به بررسی میزان آبستگي اطراف پایه میانی پل در مقاطع مرکب با تأثیر توأمان تغییر طول تکیه‌گاه، پوشش گیاهی پرداخته شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تحلیل ابعادی

پارامترهای بدون بعد درک پدیده‌های مختلف فیزیکی را به‌طور جدی تعمیق بخشیده و اجازه می‌دهند نتایج آزمایش‌های محدودی برای وضعیت‌های مختلف بکار برده

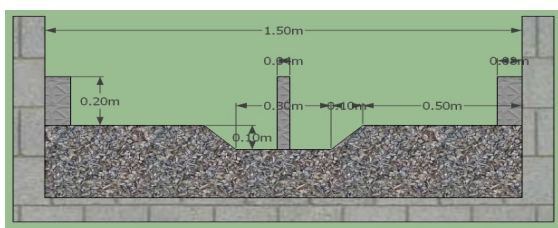


Fig. 1 Schematics of the constructed channel  
شکل ۱ شماتیک کانال ساخته شده



Fig. 2 Filling the bed of the main channel and floodplains with materials and 1% vegetation cover  
شکل ۲ پر کردن کانال و سیلاب‌دشت با مصالح و پوشش ۱٪

نصب و با عمق سنج ارتفاع متناظر با دبی موردنظر مشخص می‌شود. در آزمایش‌ها از متر لیزری که با استفاده از اراه‌ای فلزی روی کانال به این صورت استفاده شد که از نقطه قرارگیری متر لیزری تمامی نقاط کف بستر ارتفاع سنجی شده و پروفیل کف کانال بعد از آبشستگی ترسیم شد. آزمایش طولانی‌مدت برای به دست آوردن زمان تعادل و حداکثر آبشستگی در دو بازه زمانی ۸ و ۳ ساعته انجام شد. میزان حجم آبشستگی سه ساعت اول برابر ۲۹۹ سانتیمتر مکعب (معادل ۷۵ درصد آبشستگی ۸ ساعته که برابر ۳۹۶ سانتیمتر مکعب است)، است. لذا با توجه به شرایط آزمایشگاهی محدودیت‌های زمانی و همچنین مقایسه نسبی آبشستگی در زمان یکسان، زمان آزمایش‌ها برابر سه ساعت انتخاب شد. به منظور جلوگیری از ورود ناگهانی جریان به داخل بستر رسوبی و شسته شدن بستر و ایجاد فرسایش موضعی شدید ابتدا به وسیله پمپ کفکش، جریان از پایین‌دست به بالادست هدایت شده و در پیچه پایاب در بالاترین سطح خود قرار گرفته تا با پر شدن آب در پشت آن و روی کانال مانع از آبشستگی موضعی شود. سپس پمپ

بیانگر عدد رینولدز است به دست می‌آید که با توجه به آشفته بودن جریان، می‌توان از اثرات عدد رینولدز صرف‌نظر کرد. با ترکیب پارامتر  $A/y$  با پارامتر  $B/y$  پارامتر بدون بعد  $A/B$  به دست می‌آید. با توجه به اینکه شیب کانال، وزن مخصوص رسوبات و ضریب یکنواختی مصالح و قطر متوسط مصالح، سرعت، عمق جریان و طول پایه پل در تمام آزمایش‌ها مقداری ثابت است در نتیجه پارامترهای بدون بعد  $S_0$ ،  $h_g$ ،  $d_{50}/y$  و  $g_s/g$  عدد فرود حذف می‌شوند. بنابراین با توجه به ترکیب‌سازی و حذف پارامترهای ثابت، پارامترهای بی‌بعد زیر برای بررسی آبشستگی به دست آمد.

$$\frac{d_s}{y} = f\left(\frac{A}{B}, V\right) \quad (3)$$

به همین ترتیب با معرفی  $\nabla$  بعنوان حجم آبشستگی:

$$\frac{\nabla}{y^3} = g\left(\frac{A}{B}, V\right) \quad (4)$$

آزمایش‌های این پژوهش، در یک کانال آزمایشگاهی به طول ۱۷ و عرض ۱/۵ متر و با ارتفاع ۱ متر در موسسه تحقیقات آب انجام شد. کانال اصلی با تغییرات صورت گرفته تبدیل به یک کانال دوزنقه‌ای به عرض کف ۰/۳ متر و شیب جانبی یک به یک شده که در دو طرف به سیلاب‌دشت به عرض ۵۰ سانتی‌متر متصل شده است. ابتدا تا انتهای کانال توسط مصالح با قطر متوسط  $d_{50} = 0.79 \text{ mm}$  و انحراف معیار  $h_g = 1.57$  پوشش داده شد. سازه پل مورد بررسی ترکیبی از دو تکیه‌گاه و یک پایه پل بوده که پس از ساخت اجزای آن در کانال آزمایشگاهی نصب شد. پایه پل مرکزی که آبشستگی حول آن مورد بررسی قرار می‌گیرد با مقطع مربع با اضلاع ۴ سانتیمتر است. تکیه‌گاه‌های دو طرف کانال با سه اندازه ۸، ۱۶، و ۲۴ سانتیمتر متغیر بوده و پوشش گیاهی از طریق استوانه‌هایی به قطر یک سانتیمتر و با طول ۲۰ سانتیمتر بصورت غیرمستغرق بطور ردیفی در مساحت ۱، ۲ و ۴ درصد نسبت به مساحت سیلاب‌دشت مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱ شماتیک کانال ساخته شده و شکل ۲ تصویر واقعی کانال آزمایشگاهی را نشان می‌دهند. برای اندازه‌گیری دبی جریان در پایین‌دست کانال و در محل خروج جریان از کانال، یک عمق‌سنج نصب شد. به این صورت که یک سرریز با عرض مشخص در انتهای کانال

متغیر مورد بررسی در مجموع ۹ آزمایش و عمق و حجم آبشستگی مورد بررسی قرار گرفت.

در شکل ۳ تغییرات پروفیل طولی بستر ایجاد شده بعد از وقوع آبشستگی در شرایط مختلف پوشش گیاهی و طول تکیه‌گاه نشان داده شده است. افزایش طول تکیه‌گاه در همه‌ی آزمایش‌ها سبب افزایش ارتفاع انباشت مصالح شده است. لازم به ذکر است افزایش درصد پوشش گیاهی نیز در همه‌ی نمونه‌ها منجر به افزایش حجم انباشت مصالح شده که این موضوع به دلیل افزایش زبری بستر و آشفتگی جریان و بزرگ شدن حفره‌ی آبشستگی است. همچنین، طول آبشستگی (بعد حفره در راستای جریان) نیز با افزایش درصد پوشش گیاهی و طول تکیه‌گاه افزایش می‌یابد.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود بیشترین عمق و حجم آبشستگی مربوط به پوشش گیاهی ۴ درصد بوده و به ترتیب برای آزمایش‌های 4A160V%۷ برابر ۹/۲ سانتی‌متر و 4A240V%۷ برابر ۷۰۳۱ سانتی‌متر مکعب می‌باشند. کمترین مقدار برای عمق و حجم آبشستگی نیز مربوط به پوشش گیاهی ۱ درصد و آزمایش 1A80V%۷ بوده که به ترتیب برابر ۴۰۱ سانتی‌متر و ۷۶۶ سانتی‌متر مکعب است. مطابق شکل ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد پوشش گیاهی عمق و حجم آبشستگی افزایش می‌یابد. در پایه پل با طول و عرض ۴ و طول تکیه‌گاه ۸ سانتی‌متر افزایش پوشش گیاهی از ۱ به ۲ درصد و از ۲ به ۴ درصد به ترتیب سبب افزایش ۱۴ و ۵۷ درصدی در عمق آبشستگی شده که معادل ۳۰۲ و ۱۰۹ برابر شدن حجم آبشستگی است.

همان‌طور که در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است با افزایش طول نسبی تکیه‌گاه بدلیل انحراف جریان و افزایش شدت جریان در کانال اصلی، مقدار آبشستگی در اطراف پایه میانی افزایش می‌یابد و هر چه درصد پوشش گیاهی در سیلابدشت متراکم‌تر می‌شود زبری بستر آن افزایش یافته و به عبور جریان در کانال اصلی افزوده و باعث آبشستگی بیشتر در اطراف پایه میانی پل می‌شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی اثر پوشش گیاهی سیلابدشت و

روشن شده و با استفاده از دریچه برگشت جریان در مخزن اصلی، دبی بر اساس ارتفاع تنظیم می‌شود. در انتهای کانال توسط سرریز مستطیلی موجود و عمق‌سنج ثابت وضعیت دبی جریان خروجی بررسی شده و در صورتی که دبی خروجی از سرریز برابر دبی موردنظر باشد، شرایط برای آزمایش فراهم می‌شود. بعد از تنظیم دبی، دریچه پایاب به آرامی و با حوصله پایین داده تا به ارتفاع موردنظر برسد. لازم به ذکر است که ارتفاع موردنظر ۸ سانتی‌متر بالای سیلابدشت در نظر گرفته شد. این ارتفاع بدین صورت به دست آمده که هم‌زمان با پایین دادن دریچه پایاب، ذرات کف بستر مورد بررسی قرار گیرد. لحظه‌ای که ذرات کف بستر به آرامی شروع به حرکت می‌کنند، ارتفاع آب روی سیلابدشت را اندازه‌گیری کرده که عمق آستانه حرکت نامیده می‌شود. به دلیل اینکه آبشستگی موضعی موردنظر است عمق آب روی سیلابدشت باید مقداری بیشتر از عمق آستانه حرکت باشد. در این پژوهش عمق آستانه حرکت حدود ۷ سانتی‌متر و عمق آب روی سیلابدشت برابر ۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد با توجه به عمق ۱۸ سانتی‌متر در کانال اصلی عمق نسبی ۰/۴۴ حاصل شد. پس از تنظیم ارتفاع آب روی سیلابدشت، آب به مدت سه ساعت در کانال با مقدار نسبی سرعت به سرعت بحرانی ۰/۶۵ جریان داشته تا آبشستگی حول پایه پل به دست بیاید. لازم به ذکر است که هر ۳۰ دقیقه دبی توسط سرریز اندازه‌گیری کنترل شده تا به دلیل نوسانات برق افزایش یا کاهش نداشته باشد. بعد از گذشت ۳ ساعت با استفاده از ارابه و همچنین متر لیزری داده‌برداری‌ها به صورت نقطه‌ای در طول ۱۰ و عرض ۲ سانتی‌متر انجام می‌گیرد.

#### ۳- نتایج و بحث

در این پژوهش دو متغیر پوشش گیاهی و طول تکیه‌گاه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. برای سهولت در بیان نتایج از یک سیستم نام‌گذاری اختصاری استفاده شد. در این نام‌گذاری، پوشش گیاهی با علامت V، و طول تکیه‌گاه با A نام‌گذاری می‌شود. برای مثال 1A80V%۷ به آزمایشی با پوشش گیاهی یک درصد، و تکیه‌گاه به طول ۸۰ میلی‌متر اشاره می‌کند. با در نظر گرفتن سه مقدار مختلف برای هر

شکل ۳ نمودار مقایسه طولی مرکز پایه با (a) ۱٪، (b) ۲٪ و (c) ۴٪ پوشش گیاهی

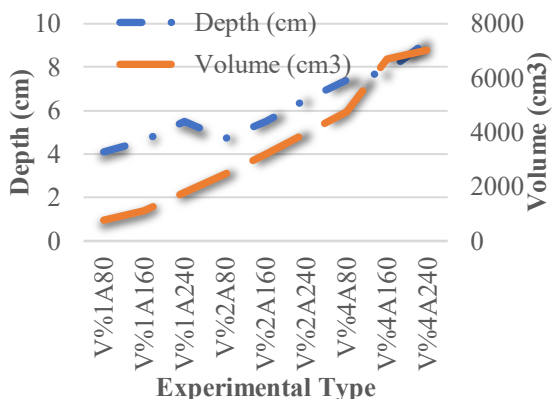


Fig. 4 Results of scour depth and volume in experiments  
شکل ۴ نتایج مربوط به عمق و حجم آبشستگی آزمایش‌ها

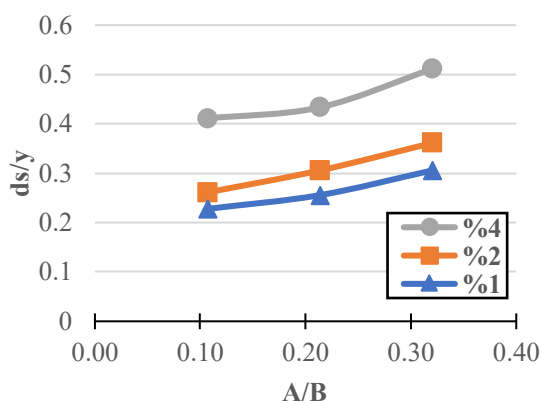


Fig. 5 Relative scour depth in terms of relative abutment length  
شکل ۵ عمق آبشستگی نسبی برحسب طول نسبی تکیه‌گاه

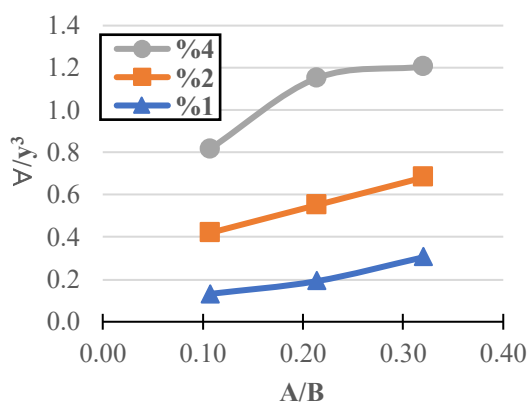


Fig. 6 Relative scour volume in terms of relative abutment length  
شکل ۶ حجم آبشستگی نسبی برحسب طول نسبی تکیه‌گاه

طول تکیه‌گاه بر عمق و حجم آبشستگی در یک کانال مرکب پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد با افزایش درصد پوشش گیاهی عمق آبشستگی در پایه‌ی پل افزایش یافته و با افزایش طول تکیه‌گاه پل، عمق و حجم آبشستگی افزایش می‌یابد همچنین پارامترهای درصد پوشش گیاهی و طول تکیه‌گاه به ترتیب بیشترین تأثیر را در ایجاد عمق و حجم آبشستگی دارند.

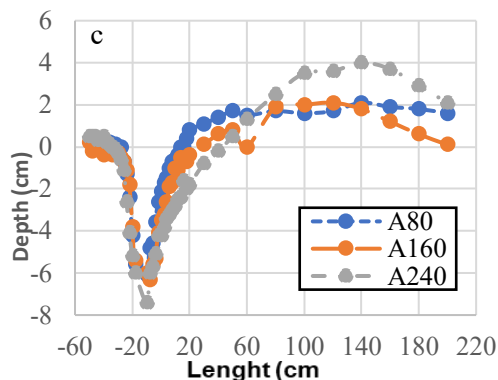
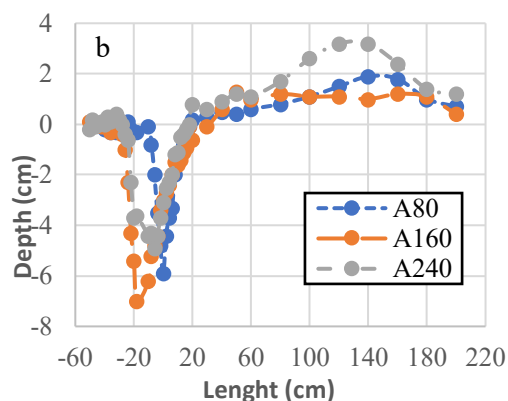
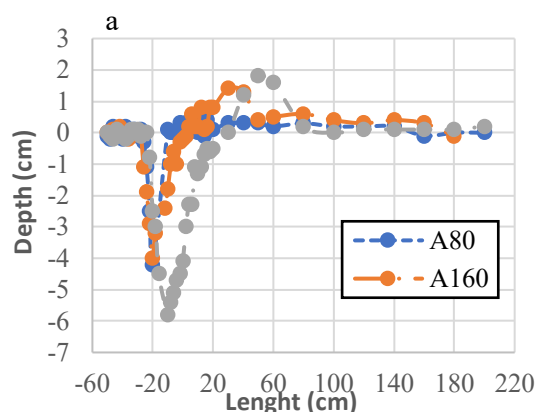


Fig. 3 Comparison of scour hole at center line of pier at (a) 1%, (b) 2% and (c) 4% vegetation

- Barbhuiya AK, Dey S. 2004. Local scour at abutments: A review. *Sadhana*, **29**(5):449-476.
- Breusers H, Nicollet G, Shen H. 1977. Local scour around cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Research*, **15**(3):211-252.
- Garde RJ, Raju KR. 2000. Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems. Taylor & Francis,
- Jordanova AA, James C. 2003. Experimental study of bed load transport through emergent vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering*, **129**(6):474-478.
- Kouchakzadeh S. 2000. Bridge abutment scour in compound river channels. *Journal of Agricultural Science and Technology*, **2**(2):95-106.
- Laursen EM, Toch A (1953) A generalized model study of scour around bridge piers and abutments. Citeseer,
- Melville BW. 1995. Bridge abutment scour in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, **121**(12):863-868.
- Melville BW. 1997. Pier and abutment scour: integrated approach. *Journal of hydraulic Engineering*, **123**(2):125-136.
- Shen HW, Schneider V, Karaki S. 1966. Mechanics of local scour: supplement, methods of reducing scour. Colorado State University. Libraries.
- Sturm TW, Sadiq A. 1996. Clear-water scour around bridge abutments under backwater conditions. *Transportation research record*, **1523**(1):196-202.
- Young G, Palaviccini M, Kilgore R. Scour prediction model at bridge abutments. In: Hydraulic Engineering, 1993. ASCE, pp 755-760

## ۵- فهرست علائم

$d_{50}$	قطر متوسط مصالح	$U \left(\frac{m}{s}\right)$	سرعت متوسط جریان در کانال
$S_0$	شیب طولی کانال اصلی	$A (m)$	طول تکیه‌گاه
$B (m)$	عرض کانال	$V$	درصد پوشش گیاهی
$l (m)$	طول پایه پل	$b (m)$	عرض پایه پل
	انحراف استاندارد		
$h_g$	توزیع اندازه مصالح	$g_s$	جرم مخصوص رسوبات

## References

## منبع‌ها

- Amir MUAR, Hashmi HN, Baloch M, Ehsan MA, Muhammad U, Ali Z. 2018. Experimental investigation of channel bank vegetation on scouring characteristics around a wing wall abutment. *Technical Journal*, **23**(01):15-21.