

Laboratory Study of Deflector Structure's Shapes on Bridge Pier Scouring

Abbas Safaei¹, Mohsen Solimani Babarsad^{2*}, Roozbeh Aghamajidi³, Amin Hojatkhah⁴


1- Water Science and Environmental Research Center, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

2- Department of Water Sciences, Water Science and Environmental Research Center, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

3- Assistant Professor Civil Department, Islamic Azad University, Sepidan Branch, Sepidan, Iran.

4- Water Science and Environmental Research Center, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

* Mohsen.solb@gmail.com

Received: 25 August 2021, Accepted: 29 September 2021  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: One of the main factors in the collapse of the bridge piers in rivers is local scouring. By placing the piers in the direction of the streams, a complex three-dimensional flow is formed around the pier that has been the popular subject of research by many researchers. Methods of reducing the depth of local scouring are divided into two systems: 1. increasing the strength of bed materials around the piers by using more resistant materials, such as riprap, collar and gabion in the riverbed. 2. Reducing the strength of the main factors such as downward flow and horseshoe vortex by the deflector, blade and submerged Vane or changing the geometric shape. In the present study, the effect of the deflector shapes such as triangles and curved surface on the maximum scour depth around the pier under clear water conditions were considered. General factors of bridge pier scour include down-flows, horseshoe vortex, and wake vortex. In general, the flow impact on the pier and its separation is the main factors that form scour holes around piers.

Methodology : The experiments were done in the laboratory of Khuzestan water and power authority laboratory (KWPA), equipped with a flume with a length of 10 meters and a height of 500 mm and a width of 310 mm. The flume is equipped with an electromagnetic flow-meter with an accuracy of ± 0.1 liters per second and a weir downstream of the flume to adjust the water level. In this study, natural river sand with uniform grain size ($\delta_g = 1.36$), relative density $G_s = 2.64$ and the average particle diameter of 0.95 mm. In all experiments, water depth was considered 100 mm. In this research, three different models of PVC deflector surface (the deflector surface shapes such as triangles, curved and simple surface) with angle's face ($\theta = 15, 30$ and 45 -degrees) were adopted. It should be noted that the angle of flow with the deflector head is calculated as $\alpha = 90 - \theta$, which used to describe and analyze.

The unprotected pier scouring studied to represent a basis for controlling and comparing with the other scour and bed change conditions. A 12-hour control experiment was also conducted on the control pier to determine the experiment time (equilibrium time), and scour depth changes were recorded in the time unit during experiments.

Results and Discussion: The horseshoe vortex around the scour hole accelerates digging and transfers the sediments separated from the bed downstream with the main flow. The flow's

separation from around the pier also creates perpendicular vortices on the sedimentary bed known as wake vortices. These vortices are active behind the pier, separate the bed particles like a tornado, expose them to the flow, and help move sedimentary particles from the front and sides of piers downstream. The scour hole digging by the horseshoe vortex continues until the water volume inside the scour hole increases and exhausts the vortex energy. In this state, the scour depth changes negligibly over time and reaches equilibrium. The results showed that by reducing the head slope from 40 to 15 degrees, scouring depth decreases. For all deflectors with 15 degrees in the parameter ($U/U_c=0.70$), the percentage of the scouring depth reduction is close to 83 to 89 percent. In the parameter $U / U_c=0.96$ near inception motion that is the most critical state and the value most comparable to the particle incipient motion, the deflector with triangle surface shows a decrease of 85%, curved surface 77%, and simple 75%. By reducing the angle of the deflector, part of the flow lines didn't deviate towards the bed, which reduced the potential of the high-pressure zone created at the pier. This reduction in compressive potential reduced the flow velocity of the back vortices and, ultimately, reduces their ability to transport sediment downstream. Based on the results, the deflector with a triangle surface shape in all flow conditions had a better and lower scour hole depth than the carved and simple shape.

Conclusion: This study used a deflector structure to reduce and control the scour depth around bridge piers. The flow effect was analyzed by implementing these protections and their impact in various relative velocities ($U/U_c = 0.97, 0.83, 0.70$). The scouring pattern and sediment point bar created around the pier with the deflectors protection compared with the control pier (without protection) had less scouring depth due to minor deviation of flow streamlines and reduced disturbances around the pier. Finally, the deflector with a triangle surface shape had a better response to reduce the scouring hole. The results stated that the deflector at the 15-degree angle significantly affects the flow deflection near the bed, corrects the flow pattern around the pier, and reduces scouring depth.

Keywords: Scouring, Deflector, Pier, Bridge



© 2022 Iranian Hydraulic Association, Tehran, 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 شکل رویه سازه دفلکتور بر کاهش عمق آبشستگی اطراف پایه پل

عباس صفائی^۱، محسن سلیمانی بابرصاد^{۲*}، روزبه آقامجیدی^۳، امین حجت خواه^۴

۱- عضو مرکز تحقیقات علوم آب و محیط زیست، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

۲- گروه مهندسی آب، مرکز تحقیقات علوم آب و محیط زیست، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

۳- استادیار بخش عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سپیدان، سپیدان، ایران.

۴- عضو مرکز تحقیقات علوم آب و محیط زیست، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

* Mohsen.solb@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷ و وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: از عوامل مهم تخریب پایه پل‌ها، آبشستگی موضعی در پنجه آن‌ها می‌باشد. جهت کنترل این پدیده، محققین مطالعات فراوانی را انجام داده‌اند، و راهکارهایی جهت کاهش آن پیشنهاد نموده‌اند. در این تحقیق، المانی به نام سازه دفلکتور (منحرف کننده جریان)، که باعث دور شدن جریان از روی بستر رسوبی مقابل پایه می‌گردد، تعریف شد. سناریو آزمایش‌ها، با تثبیت شرایط جریان به ازای سه سرعت نسبی ($\frac{U}{U_c}$) برابر ۰/۷۰، ۰/۸۳ و ۰/۹۷ و زاویه‌های سازه دفلکتور با راستای جریان، برابر ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه، به ازای پایه با مقطع دایره، تعریف گردیدند. در این تحقیق اثر شکل رویه دفلکتور در دو نوع رویه گرده مثلثی و گرده ماهی بر روی عمق آبشستگی بررسی گردید. نتایج نشان داد که، پارامتر بی بعد عمق آبشستگی ($\frac{d_s}{d_{smax}}$) نزدیک آستانه حرکت ذرات $0/97 = \frac{U}{U_c}$ برای دفلکتور با زاویه ۱۵ درجه و گرده مثلثی نسبت به نمونه شاهد، برابر ۸۵ درصد و گرده ماهی ۷۷ درصد و رویه مسطح برابر ۷۵ درصد کاهش داشته است. همچنین با تغییر زاویه از ۴۵ درجه به ۳۰ و ۱۵ روند آبشستگی موضعی اطراف پایه کاهش داشته و اثر گذاری سازه دفلکتور افزایش می‌یابد.

کلید واژگان: پایه پل، دفلکتور، منحرف کننده جریان، آبشستگی موضعی، آستانه حرکت

متحرک تقسیم‌بندی می‌شود (Shafae Bajestan et al., 2018).

روش‌های کاهش عمق آبشستگی موضعی نیز به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از: بالا بردن مقاومت مواد بستر پیرامون پایه‌ها با استفاده از مواد مقاوم‌تر که رایج‌ترین آن استفاده از سنگچین در بستر رودخانه است. ۲- کاهش قدرت عامل‌های اصلی فرسایش بستر و تغییر الگوی جریان برخوردی به پایه است. که از جمله ابزارهای مختلف در این روش، می‌توان به استفاده از آستانه، صفحه‌های مستغرق، شکاف، طوق و سازه‌های محافظتی و به‌طور کلی استفاده از ابزارهای جانبی که توانایی تغییر الگوی جریان گردابی پیرامون پایه را داشته باشند، نام برد.

۱- مقدمه

شکست پل‌ها در اثر آبشستگی از لحاظ اجتماعی و اقتصادی مسئله مهمی به شمار می‌رود و در طی دهه‌های گذشته در این زمینه بررسی‌های فراوانی انجام شده است. تخریب پل‌ها به علت آبشستگی موجب ترغیب روزافزون پژوهشگران برای ارزیابی و بررسی پدیده آبشستگی در پیرامون پایه پل‌ها و ارائه روش‌های نوین کنترل و کاهش آبشستگی شده است (Solimani Babarsad et al., 2021). آبشستگی در حقیقت جایجایی ذرات به واسطه جریان از مکان استقرار اولیه آنها به مکان دیگری است. آبشستگی از نظر وضعیت حمل رسوب به دو حالت ۱- آبشستگی آب زلال ۲- آبشستگی بستر

کمک می‌کنند. حفر گودال آبشستگی توسط گرداب نعل‌اسبی به مرور زمان آن‌قدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبشستگی زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. در این حالت عمق آبشستگی با گذشت زمان، تغییر محسوسی نداشته و به حالت تعادل می‌رسد. شکل ۱ سازوکار آبشستگی را نشان می‌دهد.

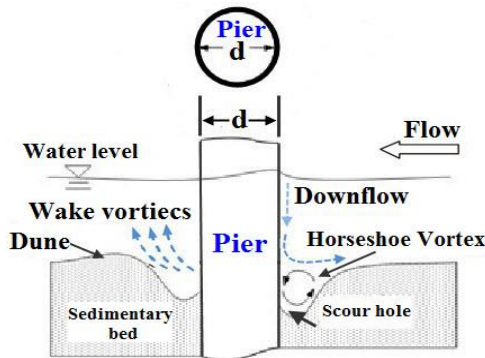


Fig. 1 Mechanism of scouring around bridge pier (Chen et al., 2018)

شکل ۱ سازوکار آبشستگی پیرامون پایه پل (Chen et al., 2018)

در رابطه با روش‌های کاهش قدرت عامل‌های اصلی فرسایش بستر و تغییر الگوی جریان، بررسی‌هایی توسط پژوهشگران انجام شده است، که در ادامه، پژوهش‌های مبتنی بر حفاظت بستر پیرامون پایه ارائه می‌شوند. (Solimani Babarsad et al., 2021) در پژوهشی، سازه‌ای با نام دفلیکتور را بررسی و ارزیابی کردند. این سازه گوه مانند، در مقابل پایه نصب و باعث شد تا جریان‌های پایین رونده به سمت بالا منحرف شده و عمق آبشستگی کاهش یابد. در این بررسی تأثیر زاویه‌های مختلف گوه بر کاهش عمق آبشستگی بررسی شد و زاویه ۱۵ درجه به عنوان بهترین زاویه معرفی شد.

(Solimani babarsad and Safaei (2021) در پژوهشی تأثیر زاویه برخورد جریان با پایه را بررسی کردند و مشخص شد با تغییر زاویه دماغه پایه و کاهش زاویه برخورد از ۹۰ به ۸۵، ۸۰، ۷۵ و ۷۰ درجه عمق آبشستگی کاهش می‌یابد.

(Gohari and Rezaei (2020) تأثیر آستانه اریب در آبشستگی پایه پل با مقطع دایره‌ای را بررسی کردند. در تحقیق آنان آستانه‌های اریب به طور مورب با زاویه ۱۱/۳

سازوکار آبشستگی پیرامون پایه پل

از عامل‌های کلی در آبشستگی پایه‌های پل می‌توان به جریان‌های رو به پایین، گرداب نعل‌اسبی و گرداب برخاستگی اشاره کرد. به طور کلی پدیده برخورد جریان به پایه و پدیده جدایش جریان از پیرامون پایه، دو عامل اصلی در پیدایش حفره آبشستگی پیرامون پایه پل می‌باشند. بررسی‌های چندی بر روی الگوی جریان پیرامون پایه پل‌ها توسط پژوهشگران داخلی و خارجی نظیر، (Solimani Babarsad et al., 2021)، (Wang et al., 2020)، (Akhlaghi et al., 2020)، (Karimi et al., 2017) و (Safaei et al., 2015) مهم‌ترین عامل ایجاد حفره آبشستگی جلوی پایه پل گرداب نعل‌اسبی می‌باشد. هنگام برخورد جریان آب به پایه، به علت کاهش سرعت جریان پس از برخورد جریان به دماغه، گردایان سرعت، به گردایان فشار بر روی پایه تبدیل می‌شود. از سویی با کاهش سرعت از سطح به سمت کف بستر، فشار دینامیکی بر روی پایه نیز، از بالا به پایین کاسته می‌شود. گردایان فشار ایجاد شده سبب ایجاد جریانی به سمت کف بستر شده، که این جریان پایین‌رونده پس از برخورد با بستر رسوبی، آن را حفر کرده و رسوبات را به نقطه‌های مختلف اطراف پایه پراکنده می‌کند (Raudkivi, 1998). بخشی از این جریان پایین‌رونده باردیگر به سمت بالادست خود بازگشت می‌کند و در اثر برخورد با جریان عمومی ناچار به حرکت در جهت راستای جریان می‌شود. این چرخش جریان و بازگشت دوباره آن باعث تشکیل گردابی موسوم به گرداب نعل‌اسبی در پیرامون پایه می‌شود (Kayatürk, 2005). تشکیل گرداب نعل‌اسبی پیرامون حفره آبشستگی، باعث تسریع در حفر آن شده و رسوب‌های جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی به پایین دست حمل می‌شوند. بر اثر جدایی جریان از پیرامون پایه نیز گرداب‌هایی تشکیل می‌شوند که راستای آن‌ها عمود بر بستر رسوبات می‌باشد و به آنها گرداب برخاستگی می‌گویند (Melville, 1997). این گرداب‌ها در پشت پایه فعال هستند و مانند گردباد ذرات بستر را از پشت پایه جدا کرده و در معرض جریان قرار می‌دهند و به انتقال ذرات رسوبی از جلو و پیرامون پایه به سمت پایین دست

طول مؤثر و شکل اجسام شناور بر آبشستگی موضعی تکیه‌گاه و پایه پل به صورت آزمایشگاهی بررسی شدند. بنابر نتایج این بررسی مشخص شد، که عمق آبشستگی ایجاد شده در حضور اجسام شناور با ضخامت نسبی اجسام شناور، رابطه‌ای مستقیم دارد. به طوری که با دوبرابر شدن ضخامت نسبی اجسام شناور مستطیلی، عمق آبشستگی در پایه و تکیه‌گاه پل به ترتیب $1/2$ و $1/0.5$ برابر شد. Parchami et al. (2017) با قرار دادن صفحه‌های محافظتی تخت، انحنادار و زاویه‌دار در کاهش آبشستگی پایه پل در دو و شش صفحه و با آرایش‌های قرارگیری متفاوت با استقرار در جلو پایه به صورت متقارن نسبت به خط جریان تحت زاویه حمله 20° درجه و در شرایط آب زلال میزان آبشستگی پایه پل استوانه‌ای را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که ایجاد انحنا بر روی صفحه‌ها در کاهش آبشستگی مؤثر می‌باشد. به صورتی که بهترین عملکرد صفحه‌های حفاظتی مربوط به مدل صفحه‌های انحنادار چیده شده در جلو پایه ارزیابی شد که عمق آبشستگی را تا 93% کاهش دادند. Rahimi et al. (2017) با قرار دادن جسم شناور در جلو پایه به بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر روی عمق آبشستگی مانند دبی، عمق جریان، محل قرارگیری جسم شناور پرداختند، نتایج آنان نشان داد که عمق ماکزیمم آبشستگی با افزایش دبی و کاهش عمق جریان بیشتر می‌شود. همچنین در یافته‌های آنان بیان شد که شکل اجسام شناور بر آبشستگی تأثیر زیادی دارد، که به ترتیب اجسام شناور مستطیلی، استوانه‌ای و مثلثی عمق آبشستگی بیشتری ایجاد می‌کنند. و اجسام شناور طبیعی تا 90% نسبت به اجسام هندسی شناور عمق آبشستگی را افزایش می‌دهند. Solimani Babarsad et al. (2021) در تحقیقی با عنوان بررسی آزمایشگاهی تأثیر سازه منحرف کننده جریان بر آبشستگی پایه پل، سازه‌ای حفاظتی به نام دفלקتور^۱ در مقابل پایه را معرفی کردند، که در آن بررسی شکل ساده و مسطح آن ارزیابی شد، از این رو در این تحقیق تأثیر تغییر شکل رویه سازه منحرف کننده جریان بر روی الگوی آبشستگی پیرامون پایه

درجه نسبت به جداره در فاصله‌های چسبیده و با فاصله‌های دورتر از پایه بررسی شدند. آنان نتیجه گرفتند که با افزایش فاصله آستانه تا پایه، از تأثیر محافظتی آن کاسته می‌شود. بهترین نتایج مربوط به آستانه اریب در فاصله چسبیده به پایه $L=0$ بود، و آستانه اریب در مقایسه با آستانه تخت، حجم و بیشینه عمق آبشستگی را کاهش بیشتری داد. Zomorodian et al. (2019) بررسی تأثیر جداگانه و ترکیبی، طوق و شمع فداشونده در آبشستگی موضعی گروه پایه‌های پل با طوق مربعی را بررسی کردند. در این بررسی درصد عمق آبشستگی به ترتیب به میزان $69/23$ درصد در پایه جلویی و $63/23$ درصد در پایه وسط و $67/7$ درصد در پایه پشتی، کاهش یافت. همچنین مشاهده کردند که استفاده از شمع‌های فداشونده تأثیر حفاظتی بیشتری در پایه جلویی دارد، آنان بیان کردند که استفاده از ترکیب این دو روش باعث تعادل و بهبود آبشستگی در هر سه پایه نسبت به استفاده جداگانه هر کدام از روش‌ها می‌شود. Shahsavari et al. (2019) تأثیر رقوم کارگذاری طوق نیم دایره‌ای بر میزان عمق آبشستگی و الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه پل را بررسی کردند، آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و طوق‌ها به شکل نیم دایره‌ای بر روی تکیه‌گاه در دو اندازه $1/5L$ و $2L$ (طول تکیه‌گاه در برابر جریان) و در سه تراز مختلف نسبت به بستر، هم‌تراز از بستر و $0/2L$ زیر و بالای بستر انجام و ارزیابی شدند. نتایج آنان نشان داد که طوق با اندازه دو برابر طول تکیه‌گاه $2L$ و تراز قرارگیری $0/2L$ زیر بستر، عملکرد بهتری از خود نشان داده و موجب کاهش 58% عمق نهایی آبشستگی شده است. Vaghefi and Meraji (2019) بر روی تأثیر کاهش 20 درصدی طول همپوشانی صفحه‌های مستغرق بالادست پایه پل بر عوارض بستر در قوس تند 180° درجه بررسی انجام دادند، که نتایج آنان نشان داد، کاهش 20 درصدی طول همپوشانی صفحه‌های مستغرق، عمق حفره آبشستگی پیرامون پایه را 30 درصد کاهش می‌دهد. Abousaeidi et al. (2018) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر تجمع اجسام شناور بر آبشستگی موضعی پایه و تکیه‌گاه پل پرداختند. در این پژوهش اثر مقابل تکیه‌گاه و پایه پل، ضخامت،

بررسی و ارزیابی شد.

در تمام آزمایش‌های انجام گرفته ثابت می‌باشند، لذا می‌توان از تأثیر این پارامترها نیز صرف‌نظر نمود و رابطه ۳ را به صورت زیر نوشت :

$$f_3\left(\frac{d_s}{d_{smax}}, \frac{d_s}{d_{smax*}}, \frac{U}{U_c}, \theta\right) = 0 \quad (3)$$

و یا

$$\frac{d_s}{d_{smax}}, \frac{d_s}{d_{smax*}} = f\left(\frac{U}{U_c}, \theta\right) \quad (4)$$

که در رابطه (۳ و ۴)، پارامتر $\frac{d_s}{d_{smax}}$ عمق آبشستگی نسبی (نسبت به آبشستگی پایه شاهد بدون محافظت)، $\frac{d_s}{d_{smax*}}$ عمق آبشستگی نسبی (پایه شاهد با سازه منحرف کننده جریان مسطح)، $\frac{U}{U_c}$ سرعت نسبی و θ زاویه سازه منحرف کننده جریان با راستای جریان هستند.

۲-۲-۲- آماده سازی مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌های انجام گرفته در این پژوهش در یک فلوم تحقیقاتی گانت^۱ واقع در آزمایشگاه هیدرولیک و سیالات مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی صنعت آب و برق خوزستان^۲ انجام شد. شکل ۲ ویژگی‌های فلوم مورد استفاده بصورت نمای کلی را نشان می‌دهد. فلوم نشان داده شده در تصویر دارای طول ۱۰ متر، عرض ۳۱ سانتی متر و ارتفاع ۵۰ سانتی متر با قابلیت تغییر شیب می‌باشد. جنس اسکلت فلوم فلزی بوده و دیواره‌های فلوم از جنس شیشه ساخته شده، که امکان مشاهده جریان و پدیده‌ها در آبراهه را فراهم می‌کند. در ابتدای ورودی به فلوم یک مخزن آرام کننده جریان قرار داشت، تا از تلاطم جریان ورودی به فلوم جلوگیری کند. از یک سرریز مستطیلی که در انتهای مخزن خروجی فلوم قرار داشت، برای تنظیم تراز سطح آب درون فلوم استفاده شد. سامانه تأمین کننده آب به صورت گردشی بوده که امکان تداوم آزمایش‌ها را برای مدت زمان درازی فراهم می‌ساخت. به منظور تأمین

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱-تحلیل ابعادی

پارامترهای موثر در این پژوهش، برای بررسی تأثیر سازه منحرف کننده جریان بر پدیده آبشستگی پایه پل مطابق رابطه (۱) ارائه شده‌اند.

(۱)

$$f_1 = (d, d_{50}, d_s, d_{smax}, d_{smax*}, y, U, U_c, g, \rho, \mu, b, L, \theta) = 0$$

در این رابطه: d قطر پایه استوانه‌ای، d_{50} قطر میانگین ذرات رسوبی، d_s عمق آبشستگی، d_{smax} عمق آبشستگی پایه شاهد استوانه‌ای بدون حفاظت، d_{smax*} عمق آبشستگی پایه شاهد استوانه‌ای با حفاظت سازه منحرف کننده جریان ساده، y عمق جریان، U سرعت جریان، U_c سرعت آستانه حرکت رسوب‌ها بستر، g شتاب ثقل، ρ جرم مخصوص سیال، μ لزجت آب، b عرض فلوم، L طول سازه منحرف کننده جریان و θ زاویه سازه منحرف کننده جریان می‌باشند. با اعمال تحلیل ابعادی به روش باکینگهام و با در نظر گرفتن ρ, U, d به عنوان متغیرهای تکراری، رابطه بالا را می‌توان به صورت تابع بدون بعد زیر نوشت:

(۲)

$$f_2(Re, Fr, \frac{d_{50}}{d}, \frac{d_s}{d_{smax}}, \frac{d_s}{d_{smax*}}, \frac{U}{U_c}, \frac{y}{d}, \frac{b}{d}, \frac{L}{d}, \theta) = 0$$

در رابطه بالا عدد رینولدز (Re)، بنابر نتایج بررسی‌های مطالعه Rajaratnam and Ahmed (1998) به دلیل اینکه عدد رینولدز در همه آزمایش‌ها بیشتر از ۲۰۰۰ بود جریان به کلی آشفته بوده و در بررسی‌ها قابل صرف‌نظر کردن است. همچنین به جای عدد فرود جریان (Fr)، به دلیل زیربحرانی بودن جریان در همه آزمایش‌ها و کوچک بودن محدوده آن، از سرعت نسبی $\frac{U}{U_c}$ برای تحلیل و تفسیر نمودارها استفاده شد. با توجه به اینکه d, d_{50}, d, b و L و

1 Gunt (HAMBURG-Fabrication No:204716)

2 KWPA

طول ۲ متر در نظر گرفته شد و کنترل دبی توسط شیر کنارگذر انجام می‌گرفت. یک مخزن آرام کننده جریان نیز در انتهای فلوم قرار داشت تا جریان پس از عبور از روی سرریز انتهایی وارد آن شود و توسط لوله‌ای وارد مخزن ذخیره آب شود، تا به این ترتیب سامانه گردش آب کامل شود.

آب درون فلوم از یک پمپ با بیشینه دبی ۵۱ لیتر بر ثانیه استفاده شد و یک شیر کنارگذر میزان ورود دبی به پمپ را کنترل می‌کرد، همچنین یک دی‌سنج الکترومغناطیس با دقت ± 0.1 لیتر بر ثانیه میزان دبی ورودی به فلوم را نمایش می‌داد. محل انجام آزمایش‌ها در یک مقطع مستطیلی در فاصله ۳ متری از ابتدای ورودی آبراهه و به

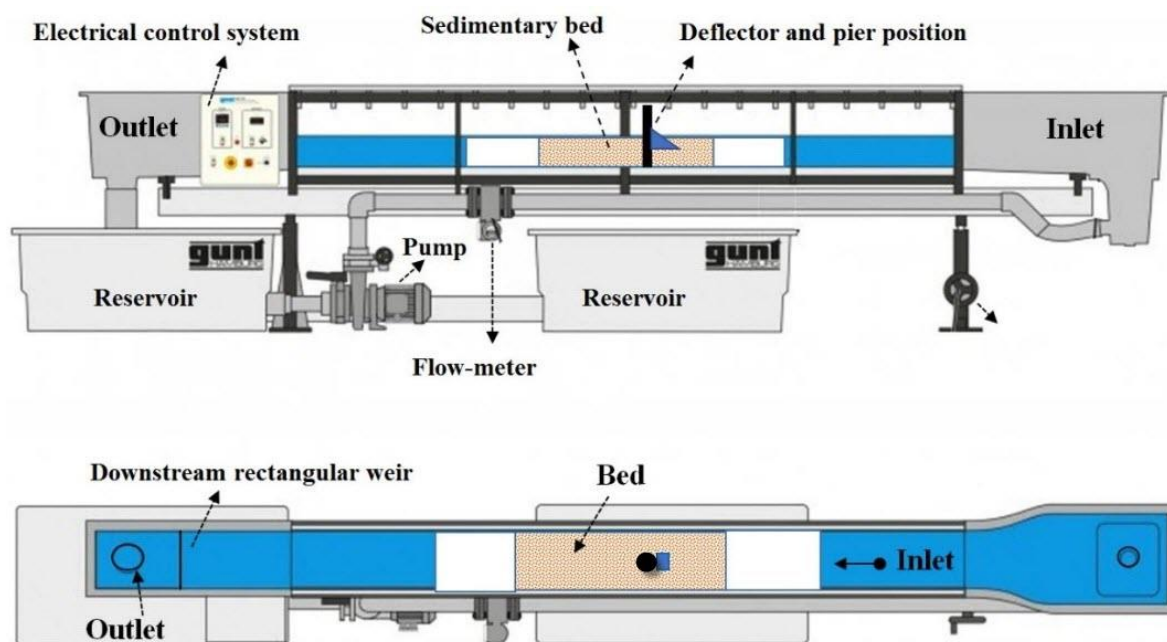


Fig 2. Plan and longitudinal section of laboratory flume
شکل ۲- تصویر نمای کلی مقطع طولی و پلان فلوم

عرض فلوم بیشتر شود. با توجه به اینکه عرض فلوم در این تحقیق ۳۱ سانتی‌متر می‌باشد و با در نظر گرفتن معیارها، مدل پایه استوانه‌ای از جنس تفلون و با قطر ۳ سانتی‌متر استفاده شد. همچنین سازه‌های منحرف کننده جریان و رویه‌های گرده مثلثی و گرده ماهی نیز از جنس پی وی سی با طول ثابت ۸ سانتی و زاویه‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ درجه طراحی و ساخته شد. برای ثابت ماندن پایه درون رسوبها، مدل پایه بر روی صفحه افقی از جنس پی وی سی متصل گردید، و در فاصله ۱ متری از ابتدای محدوده ۲ متری رسوبها قرار داده شد.

ب- رعایت معیار یکنواختی و اندازه رسوبها

قطر میانگین ذرات رسوبی d_{50} باید به گونه‌ای انتخاب شود که علاوه بر آنکه حداکثر عمق آبشستگی پیرامون پایه پل

۲-۳- مدلسازی با اعمال محدودیت های لازم

الف- ابعاد مدل

از آنجا که نخستین گام در مرحله‌های انجام آزمایش‌ها تعیین ابعاد مدل و همچنین تعیین پارامترهای مجاز و موثر بر بیشینه عمق آبشستگی می‌باشد، لذا پارامترهای موثر در این پژوهش با در نظر گرفتن معیارهای چندی که توسط پژوهشگران پیشین ارائه شده است، برای رسیدن به شرایطی که بیشینه عمق آبشستگی موضعی در آن شرایط ایجاد شود به شرح زیر گزینش شدند. در گزینش قطر مدل پایه، باید تأثیر جانبی دیواره‌های فلوم بر روی عمق آبشستگی پایه‌های مدل در نظر گرفته شود. بنابر نتایج Raudkivi and Ettema (1983) نسبت عرض پایه به عرض آبراهه نباید از 0.16 بیشتر شود. همچنین بنابر توصیه‌های (Melville, 1997) قطر پایه نباید از ۱۰ درصد

این پژوهش نیز در شرایط آب زلال رخ می‌دهد. لذا سرعت آستانه حرکت به دو روش محاسبه‌ای و مشاهده‌های آزمایشگاهی تعیین شد که برای این منظور اندازه میانگین دانه‌های بستر از جنس کوارتز و دمای آب ۲۰ درجه سلسیوس رابطه‌هایی که توسط ملویل ارائه شد برآورد خوبی برای منحنی شیلدز می‌باشد.

$$FOR \rightarrow 0.1mm < d_{50} < 1mm \quad (5)$$

$$U_{*c} = 0.0115 + 0.0125d_{50}^{1.4}$$

$$FOR \rightarrow 1mm < d_{50} < 100mm \quad (6)$$

$$U_{*c} = 0.305d_{50}^{0.5} - 0.0065d_{50}^{-1}$$

و سرعت بحرانی از رابطه توزیع لگاریتمی سرعت استفاده نمود:

$$U_c = 5.75 \log(5.53 \frac{y}{d_{50}}) \times U_{*c} \quad (7)$$

با استفاده از رابطه‌های بالا سرعت آستانه حرکت برای رسوب‌ها برابر با ۰/۱۸۳ متر بر ثانیه محاسبه گردید. برای تعیین سرعت آستانه حرکت به روش مشاهده‌ای آزمایش‌هایی بدون حضور پایه و در عمق ثابت با تغییر سرعت‌های مختلف انجام شد. و شرایطی که در آن آغاز حرکت ذرات مشاهده شد، ثبت شد. با میانگین‌گیری از سرعت‌های مختلف ثبت شده، سرعت ۰/۲۲ متر بر ثانیه به عنوان سرعت آستانه حرکت و در همه آزمایش‌ها، این سرعت به عنوان مبنای سرعت آستانه حرکت ذرات در نظر گرفته شد. در نتیجه با توجه به معیارهای فوق و محاسبه سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی، با مدنظر قراردادن عمق جریان، ثابت و برابر با ۱۰ سانتی‌متر، شرط سرعت نسبی $\frac{U}{U_c} = 0.97$ در آزمایش‌ها برقرار شد. با در نظر گرفتن شرط سرعت نسبی یاد شده امکان مقایسه همه سناریوها در شرایط یکسان و نزدیک به آستانه حرکت رسوب‌های بستر وجود دارد.

د-مدت زمان انجام آزمایش‌ها

معیار زمان انجام آزمایش‌ها در این تحقیق برابر نظر

ایجاد شود، هم‌چنین عمق آبشستگی تعادلی نیز تحت تأثیر اندازه ذرات رسوبی قرار نگیرد (Melville, 1997). برابر نظر Lee and Sturm (2009) کمترین میزان d/d_{50} را ۲۵ اعلام کردند (d قطر پایه و d_{50} اندازه میانگین ذرات رسوبی). در این تحقیق این نسبت برابر است با ۳۱/۵۷ که معیارهای بالا را پوشش می‌دهد. برای جلوگیری از تشکیل شکل بستر^۱ (ریپل) برابر توصیه Raudkivi and Ettema (1983) اندازه میانگین ذرات رسوبی بایستی از ۰/۷ میلی متر بیشتر باشد، بنابراین d_{50} ذرات رسوبی برابر ۰/۹۵ میلی متر گزینش شد. در این تحقیق از ماسه طبیعی رودخانه با چگالی نسبی $G_s = 2.64$ استفاده شد. میزان محاسبه شده معیار انحراف هندسی رسوب‌ها در این پژوهش برابر رابطه $\delta_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$ که در این رابطه d_{84} و d_{16} به ترتیب قطر ذراتی است که ۸۴ و ۱۶ درصد ذرات از آنها ریزتر است. میزان $\delta_g = 1/36$ می‌باشد، که این میزان کوچکتر از ۱/۵ بوده که شرط یکنواختی ذرات را برابر نظر (Shafae Bajestan et al., 2018) پوشش می‌دهد.

ج- انتخاب عمق و سرعت جریان

عمق و سرعت جریان نیز از پارامترهایی هستند که بر عمق نهایی آبشستگی تأثیرگذارند. و اگر به درستی انتخاب نشوند بیشینه میزان عمق آبشستگی تحت تأثیر آن‌ها قرار خواهد گرفت. بنابر نظر Chiew (1995) و Ettema (1980) برای جلوگیری از تأثیرات عمق جریان بر عمق آبشستگی، عمق جریان باید از سه برابر قطر پایه بیشتر باشد. Melville and Chiew (1999) برای تعیین عمق جریان بیشینه، تنش برشی در شرایط آب زلال باید بررسی شود. هنگامی که سرعت میانگین جریان به گونه‌ای باشد که در سرعت محدوده‌ی $U_c < U < 3U_c$ قرار داشته باشد، آبشستگی در شرایط آب زلال رخ می‌دهد و اگر سرعت میانگین جریان U بیش از سرعت بحرانی شود، آبشستگی در حالت بستر زنده روی می‌دهد. در این تحقیق، آزمایش‌ها بر روی مدل برای حالت آبشستگی آب زلال طراحی شد. آزمایش‌های انجام شده در

سازه منحرف کننده جریان انجام گرفت. با توجه به نمودار شکل ۳ مشاهده شد که تا نزدیک به در ۴۸۰ دقیقه به بعد، تغییرپذیری‌های عمق آبستگی کمتر از ۱ میلی‌متر بوده و نزدیک به ۹۸٪ آبستگی رخ داده است. بنابراین در همه آزمایش‌ها، زمان تعادل ۸ ساعت در نظر گرفته شد.

(Kumar et al., 1999) گزینش شد، و آن مدت زمانی است که تغییرپذیری‌های عمق آبستگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی‌متر نباشد. بدین منظور یک آزمایش دراز مدت ۱۲ ساعته بر روی پایه شاهد در بحرانی‌ترین شرایط $U/U_c = 0.97$ و پایه استوانه‌ای بدون

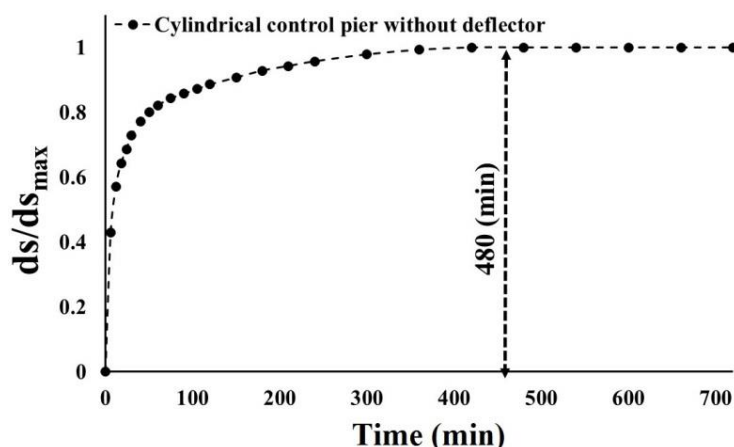


Fig 3. Time variations of scour depth

شکل ۳ نمودار توسعه زمانی آبستگی پایه شاهد

در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین به منظور بررسی تأثیر سازه منحرف کننده جریان بر میزان آبستگی، از درصد کاهش عمق آبستگی برابر رابطه ۸ استفاده شد. که در این رابطه d_s و d_{smax} به ترتیب عمق آبستگی و عمق تعادل آبستگی می‌باشند.

$$\text{percentage of scouring reduction} = \left(\frac{d_{smax} - d_s}{d_{smax}} \right) \times 100 \quad (A)$$

جدول ۱ شرایط جریان حاکم بر آزمایش‌ها، و جدول ۲ اجزای آزمایش‌ها برابر پیش فرض در نظر گرفته شده را نشان می‌دهند.

در این تحقیق سازه‌ای با عنوان سازه منحرف کننده جریان، معرفی، و پیش فرض‌های آزمایش‌ها بر این مینا تنظیم شد که بتواند هر دو نوع حفاظت را پوشش دهد، به‌صورتی که هم بستر را مقاوم کرده و هم الگوی جریان را به‌گونه‌ای اصلاح کند که جریان کمتری به سمت بستر منحرف شود.

۲-۴- ویژگی‌های مدل‌های آزمایشگاهی

در این پژوهش از پایه استوانه‌ای به قطر ۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و ۳ مدل سازه منحرف کننده جریان در زاویه‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ درجه به همراه دو رویه‌گرده ماهی و گرده مثلثی شکل استفاده شد. ویژگی‌های مدل‌ها

جدول ۱ ویژگی‌های هیدرولیکی حاکم بر آزمایش‌ها

Table 1 Hydraulic condition governing in laboratory tests

width (Cm)	Circular pier diameter (Cm)	Sediment mean diameter (mm)	Water Depth (Cm)	Discharge (L/S)	Relative velocity	Reynolds	Froude
b	d	d ₅₀	Y	Q	U/U _c	Re	Fr
31	3	0.95	10	5.83<Q<8.05	0.70<U/U _c <0.97	>20000	0.19<Fr<0.27

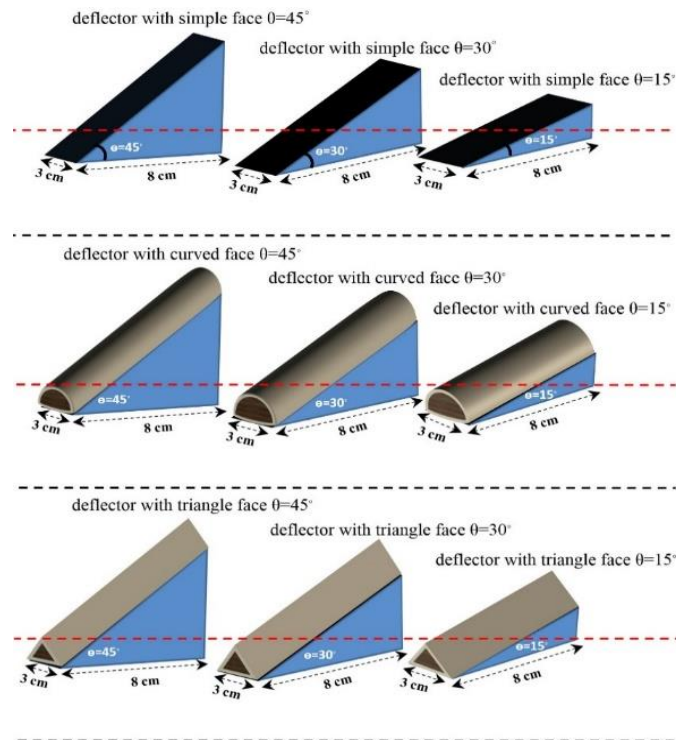


Fig 4. Deflector structure model by graphical image

شکل ۴ نگاره‌های شماتیک مدل سازه‌های منحرف کننده جریان

مدتی از آغاز آزمایش، رسوب‌های برخاسته از حفره آبشستگی به حدی رسیدند که تأثیر پایه بر آن محدوده کاهش یافته و تأثیر گردابه‌های پشت پایه ناچیز شد. در این وضعیت رسوب‌های انتقالی از حفره آبشستگی تحت تأثیر جریان ثانویه به سمت پایین دست انتقال می‌یافتند، و سرانجام با گذشت حدود ۸ ساعت از آغاز آزمایش، نرخ آبشستگی به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. همچنین مشاهده شد که عمق آبشستگی در جلو پایه میزان حداکثر را داشته و با دور شدن از پایه مقدار آن در پیرامون پایه کاهش می‌یابد. در شکل ۵ تصویر تشکیل حفره و پشته رسوبی آبشستگی پایه استوانه‌ای با سه نوع حفاظت نشان داده شده است. در ادامه نیز نیمرخ طولی تراز بستر مقابل پایه برای مقایسه با یکدیگر ترسیم شده. با توجه به شکل‌ها و پروفیل‌های بستر، تأثیر سازه منحرف کننده جریان باعث می‌شود الگوی جریان پیرامون پایه نیز تغییر یابد.

ب) آزمایش پایه پل استوانه‌ای در مجاورت سازه‌های منحرف کننده جریان

۳- نتایج و بحث

الف) آزمایش پایه بدون محافظ (شاهد)

در آغاز آبشستگی پایه بدون هیچگونه محافظتی به‌عنوان پایه شاهد، بررسی شد تا مبنایی برای کنترل و مقایسه با حالت‌های بعدی در کاهش میزان آبشستگی و تغییرپذیری‌های بستر باشند. همچنین برای تعیین مدت زمان انجام آزمایش‌ها همان‌طور که پیشتر اشاره شد یک آزمایش شاهد به مدت ۱۲ ساعت بر روی پایه شاهد انجام گرفت و در حین انجام آزمایش تغییرپذیری‌های عمق آبشستگی در واحد زمان ثبت شد. نتایج آزمایش شاهد نشان داد، پس از برخورد جریان آب به پایه بدون فاصله در پیرامون پایه استوانه‌ای گردابه‌هایی به‌علت وجود جریان‌های پایین رونده تشکیل و فرآیند آبشستگی با سرعت بسیار بالا آغاز می‌شود و پس از آنکه عمق چاله بیشتر شد گردابه‌های نعل‌اسبی در پیرامون پایه آغاز به فعالیت می‌کنند. با تشکیل حفره آبشستگی، رسوب‌های برخاسته از حفره به سمت پایین دست پایه منتقل شده و به‌صورت پشته رسوبی و در دو سمت به صورت به‌نسبت متقارن در پشت پایه امتداد یافته و انباشته شدند. پس از

خطوط جریان نزدیک بستر، به لایه‌های بالا شده و باعث کاهش عمق آبشستگی شدند. همچنین شکل های ۶، ۷ و ۸ سه حالت مختلف سطح رویه سازه منحرف کننده جریان را با آزمایش شاهد مقایسه می‌کنند. با توجه به شکل نمودارها برای هر سه زاویه ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه به ترتیب کمترین میزان آبشستگی مربوط به رویه مثلثی، حد میانه برای رویه گرده ماهی و بیشترین میزان مربوط به رویه مسطح می‌باشد. که در ادامه با توجه به شکل‌ها دلیل این نتایج آورده شده است.

شکل های ۶، ۷ و ۸ نیمرخ‌های طولی آبشستگی منطقه بحرانی مقابل پایه را به ازای تغییر شکل سازه حفاظتی در سرعت نسبی $\frac{U}{U_c} = 0.97$ و تغییر زاویه سازه منحرف کننده جریان را نمایش می‌دهند. در هر سه شکل عمق آبشستگی با نصب سازه منحرف کننده جریان کاهش داشته است. همچنین با کاهش زاویه سازه، آبشستگی پیرامون خود سازه منحرف کننده جریان نیز کاهش داشته است. با توجه به شکل‌ها، مشخص است که حضور سازه منحرف کننده جریان در مقابل پایه، باعث انحراف

جدول ۲ اجزای آزمایش‌ها در پیش فرض‌های مختلف

Table 2 Test details in various scenarios.

Souring Decreasing percentage	Scouring Depth	Relative Velocity	Deflector Angle	Model	Number
$\frac{d_s}{d} \%$	$\frac{d_s}{d_{s_{max}}}$	$\frac{U}{U_c}$	θ	Protection scenarios	test
86	0.07	0.70	15	deflector with curved face	1
76	0.13	0.83	15	deflector with curved face	2
77	0.20	0.97	15	deflector with curved face	3
89	0.06	0.70	15	deflector with triangle face	4
85	0.09	0.83	15	deflector with triangle face	5
85	0.13	0.97	15	deflector with triangle face	6
86	0.11	0.70	30	deflector with curved face	7
66	0.19	0.83	30	deflector with curved face	8
63	0.31	0.97	30	deflector with curved face	9
81	0.10	0.70	30	deflector with triangle face	10
72	0.16	0.83	30	deflector with triangle face	11
69	0.26	0.97	30	deflector with triangle face	12
71	0.15	0.70	45	deflector with curved face	13
55	0.25	0.83	45	deflector with curved face	14
48	0.44	0.97	45	deflector with curved face	15
71	0.15	0.70	45	deflector with triangle face	16
58	0.24	0.83	45	deflector with triangle face	17
50	0.43	0.97	45	deflector with triangle face	18
83	0.09	0.70	15	deflector with curved face	19
74	0.14	0.83	15	deflector with curved face	20
75	0.21	0.97	15	deflector with curved face	21
75	0.13	0.70	30	deflector with triangle face	22
62	0.21	0.83	30	deflector with triangle face	23
58	0.36	0.97	30	deflector with triangle face	24
61	0.20	0.70	45	deflector with curved face	25
49	0.29	0.83	45	deflector with curved face	26
40	0.51	0.97	45	deflector with curved face	27
-	0.51	0.70	-	Control test without protection	28
-	0.56	0.83	-	Control test without protection	29
-	0.86	0.97	-	Control test without protection	30

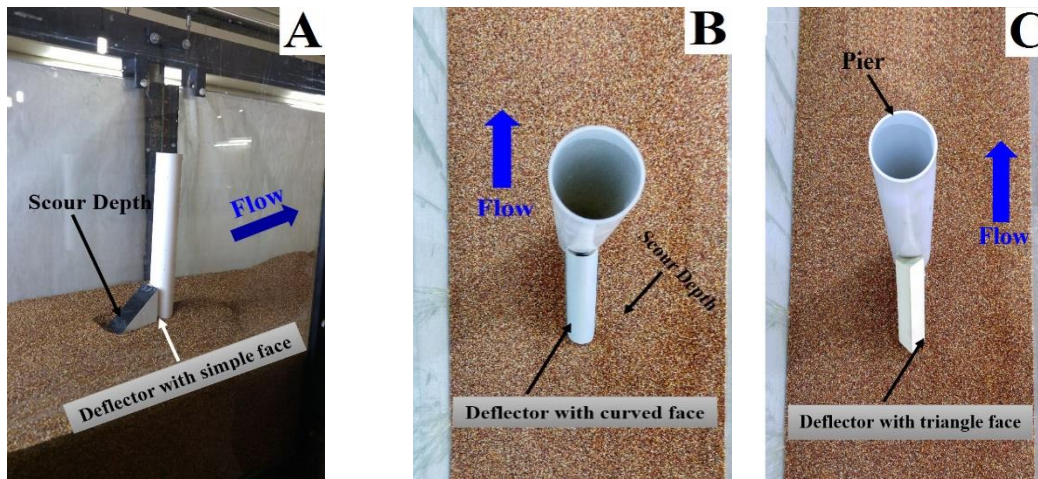


Fig 5. Photos of experimental tests: A deflector with simple face, B deflector with curved face, C deflector with triangle face
شکل ۵ تصویر اجزای آزمایش ها و آبستتگی پیرامون پایه: (A) پایه با سازه منحرف کننده جریان ساده، (B) پایه با سازه منحرف کننده جریان گرده ماهی، (C) پایه با سازه منحرف کننده جریان گرده ماهی، جریان گرده ماهی،

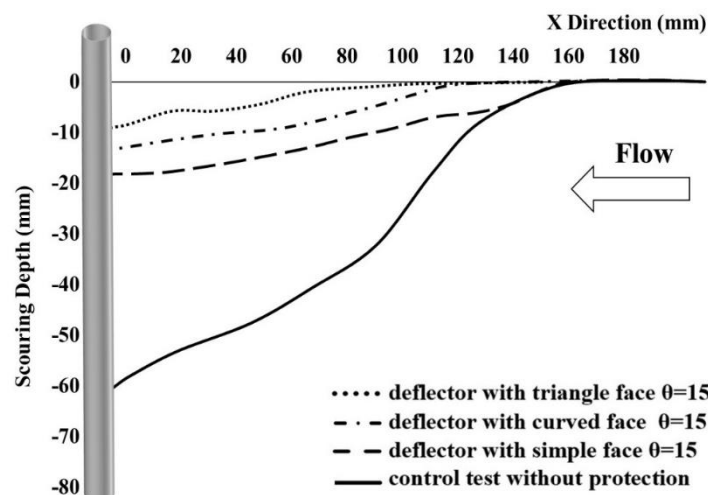


Fig. 6 longitudinal profiles of bed for deflector with $\theta=15^\circ$
شکل ۶ نیمرخ طولی آبستتگی مقابل پایه برای سازه منحرف کننده جریان با زاویه برخورد ۱۵ درجه

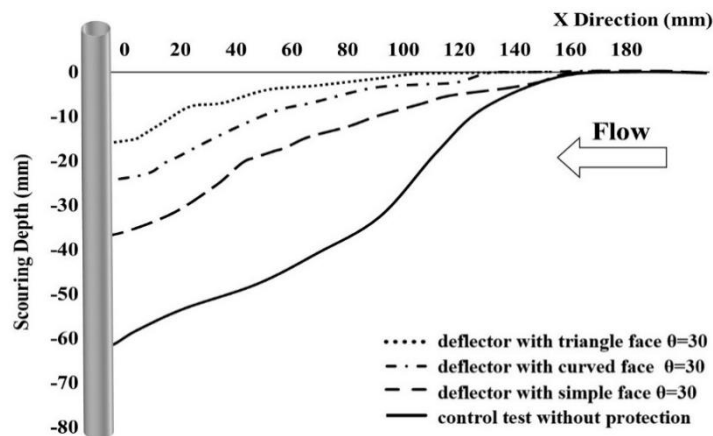


Fig. 7 Longitudinal profiles of bed for deflector with $\theta=30^\circ$
شکل ۷ نیمرخ طولی آبستتگی مقابل پایه برای سازه منحرف کننده جریان با زاویه برخورد ۳۰ درجه

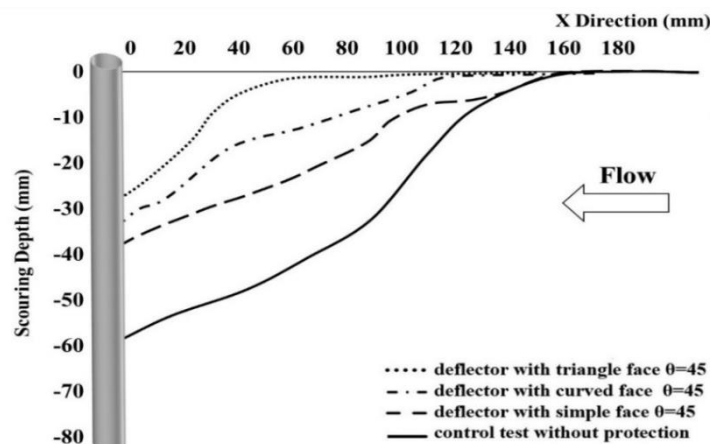


Fig. 8 Longitudinal profiles of bed for deflector with $\theta=45^\circ$

شکل ۸ نیمرخ طولی آبشستگی مقابل پایه برای سازه منحرف کننده جریان با زاویه برخورد ۴۵ درجه

باعث می‌گردد، خطوط جریان از راستای افق مقابل پایه به سمت بالا منحرف شوند. از این رو این انحراف باعث می‌گردد تا خطوط جریان پس از برخورد با پایه کمتر به سمت پایین منحرف شده، و جریان پایین رونده که در نهایت منجر به تشکیل گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی می‌گردند، تضعیف شوند. از سوی دیگر افزایش زاویه سازه منحرف کننده جریان باعث می‌شود تا خود سازه حفاظتی نیز در برابر جریان مقاومت کرده و الگوی چاله آبشستگی توسعه یابد.

شکل ۹ برای بهترین نوع حفاظت، یعنی سازه منحرف کننده جریان رویه مثلثی ترسیم شده است. این شکل مقایسه سه زاویه مختلف، برای یک رویه ثابت (رویه مثلثی) را نشان می‌دهد. تغییر زاویه پیشانی سازه منحرف کننده جریان نسبت به خطوط جریان و افزایش آن از ۱۵ درجه به ۴۵ درجه باعث می‌شود این سازه‌ها نسبت به هم رفتار متفاوتی نشان دهند، که همان‌طور که مشهود است با افزایش زاویه پیشانی عمق آبشستگی نسبت به زاویه‌های کوچکتر افزایش می‌یابد و وجود سازه دفلکتور در مقابل پایه

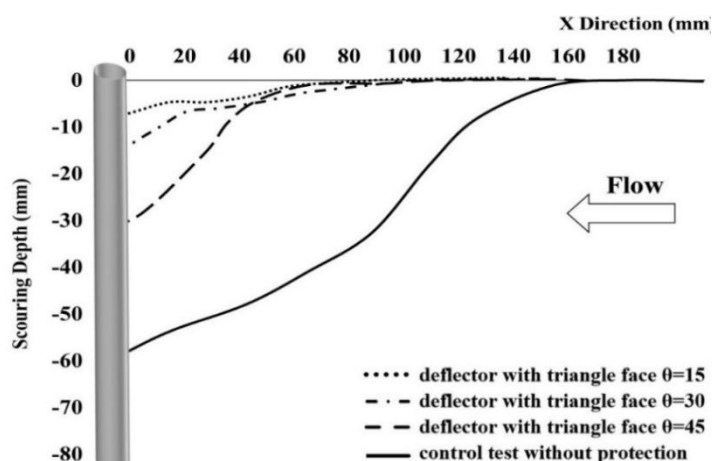


Fig. 9 Comparison of longitudinal profiles for deflector with triangle face

شکل ۹ مقایسه نیمرخ طولی مقابل پایه برای سازه منحرف کننده جریان با رویه گرده مثلثی

سرعت نسبی بدون بعد متفاوت $U/U_c = 0.97, 0.83, 0.7$ قرار گرفته تا تأثیر تغییر پارامتر سرعت نسبی U/U_c یا به عبارتی تأثیر هیدرولیک جریان بر عملکرد سازه حفاظتی و

شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ میزان کمی درصد کاهش عمق آبشستگی، به ازای سناریوهای تعریف شده در آزمایش‌ها را نشان می‌دهند. در این جا پایه، در معرض پارامترهای

افزایش θ تأثیر سازه کاهش یافته و مقاومت در برابر جریان توسط سازه حفاظتی منحرف کننده جریان افزایش می‌یابد.

در هر سه شکل ۱۰، ۱۱ و ۱۲ با افزایش سرعت نسبی نسبت به پارامتر $\frac{U}{U_c} = 0.70$ در سازه با زاویه 15° درجه نسبت کاهش عمق آبشستگی ثابت مانده است و نشان می‌دهد در زاویه‌های کم روند حفاظت در مقابل آبشستگی تا حدودی با تغییر هیدرولیک جریان تغییر نمی‌کند.

آبشستگی مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به شکل ۱۲ سازه حفاظتی با زاویه $\theta = 15^\circ$ در جلو پایه با مقطع دایره‌ای، باعث کاهش ۸۹ درصدی پارامتر بی‌بعد آبشستگی $\frac{d_s}{d}$ در سرعت نسبی $\frac{U}{U_c} = 0.70$ شده است و با افزایش سرعت جریان تا نزدیکی آستانه حرکت در عدد ۸۵ درصد ثابت مانده است. همچنین در شرایط آستانه حرکت با افزایش زاویه از 15° به 30° و 45° درجه این میزان به ترتیب به 69% و 50% درصد کاهش می‌یابد و نشان دهنده این موضوع است که با تغییر در زاویه سازه حفاظتی و

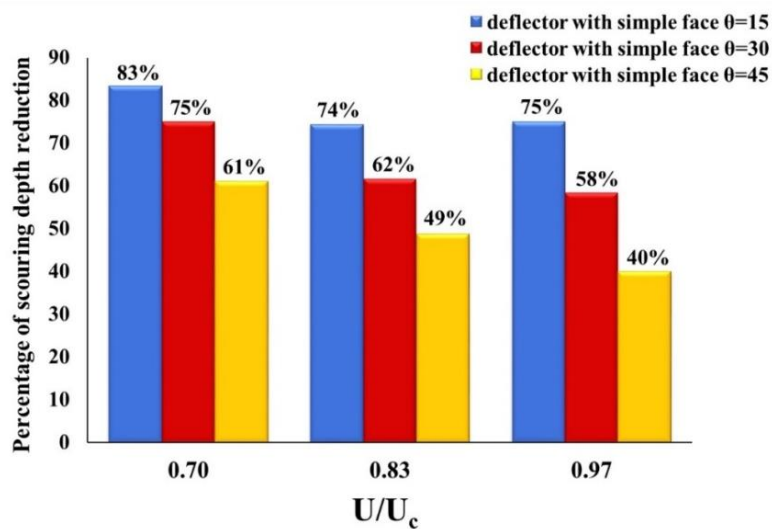


Fig. 10 Percentage of scouring depth reduction relative for deflector with simple face

شکل ۱۰ سرعت نسبی در برابر درصد کاهش عمق آبشستگی نسبت به شاهد برای سازه حفاظتی با رویه مسطح

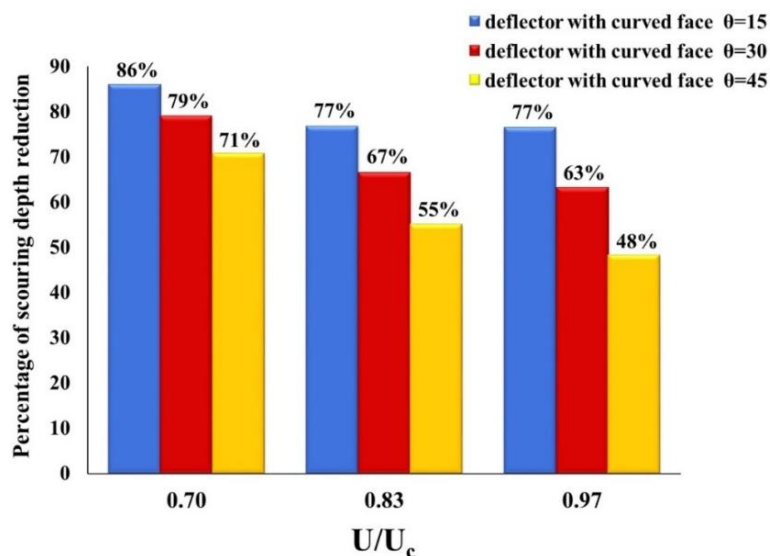


Fig. 11 Percentage of scouring depth reduction relative for deflector with curved face

شکل ۱۱ سرعت نسبی در برابر درصد کاهش عمق آبشستگی نسبت به شاهد برای سازه حفاظتی با رویه گرده ماهی

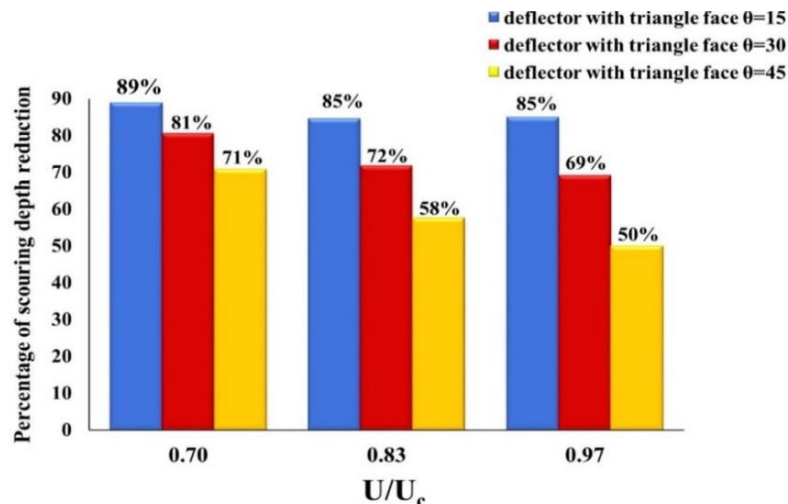


Fig. 12 Percentage of scouring depth reduction relative for deflector with triangle face

شکل ۱۲ سرعت نسبی در برابر درصد کاهش عمق آبشستگی نسبت به شاهد برای سازه حفاظتی با رویه گرده مثلثی

رویه گرده مثلثی دارای بهترین شرایط بوده، ضمن اینکه نسبت به تغییرپذیری‌های دبی (تغییر در پارامتر بی بعد سرعت) حساسیت زیادی ندارد و شیب نمودار آن در زمان تغییر سرعت نسبی بسیار کم می‌باشد. که نشان می‌دهد این سازه شرایط حفاظتی خوبی در برابر آبشستگی متأثر از پارامتر جریان دارد. دلیل این امر این است که، در سازه منحرف کننده جریان با رویه مثلثی نسبت به دو حالت دیگر، انحراف جریان افزون بر اینکه به سمت بالا می‌باشد، شکل مثلثی آن باعث انحراف خطوط جریان به سمت همه جهت‌های پایه شده و به کاهش اثر برخورد خطوط جریان با پایه و تشکیل سازوکار آبشستگی کمک می‌کند.

شکل ۱۳ تأثیر زاویه سازه منحرف کننده جریان، برای همه سناریو آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به شکل در همه سناریوها سازه حفاظتی توانسته میزان آبشستگی را کاهش دهد، و در همه حالت‌ها سازه با رویه گرده مثلثی شرایط بهتری نسبت به سناریوهای دیگر دارد. همچنین نشان می‌دهد در دبی‌های کم $\frac{U}{U_c} = 0.70$ شیب نمودار بسیار کم بوده که بیانگر این نکته هست که تغییر زاویه سازه در این شرایط تغییر محسوسی ندارد.

شکل ۱۴ تغییرپذیری‌های پارامتر بی بعد سرعت در برابر آبشستگی را نسبت به نمونه شاهد بدون محافظت نشان می‌دهد. با توجه به شکل سازه منحرف کننده جریان با

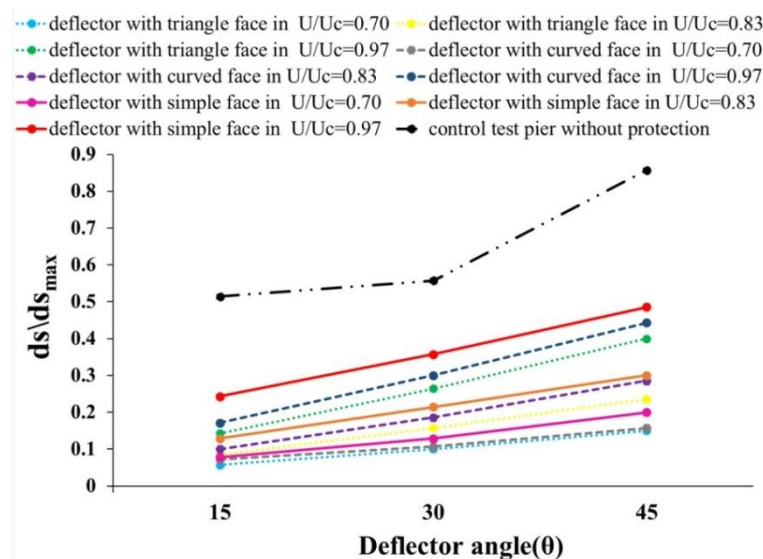


Fig. 13 Dimensionless scouring depth for all scenarios against Deflector face

شکل ۱۳ روند تغییرپذیری‌های عمق آبشستگی نسبت به تغییر شکل سازه

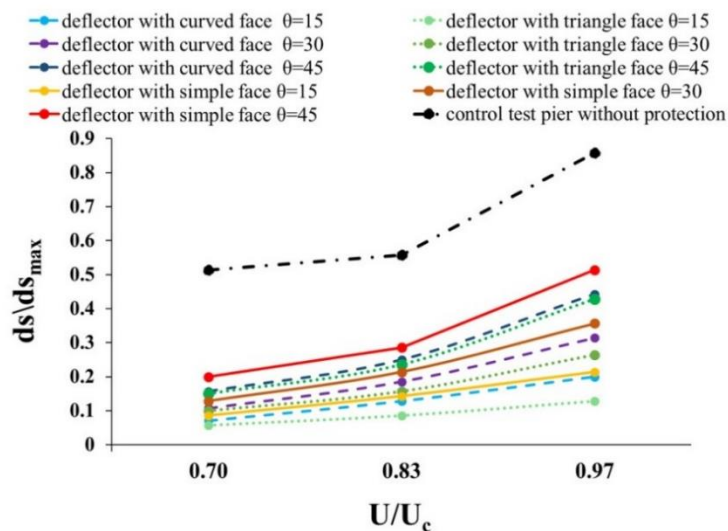


Fig. 14 dimensionless scouring depth for all scenarios against relative velocity

شکل ۱۴ روند تغییرپذیری‌های عمق آبشستگی نسبت به فراسنجه جریان

در کاهش عمق آبشستگی بوده و همچنین نشان می‌دهد که در حالت $\theta = 15^\circ$ و نزدیک آستانه حرکت، پایه با رویه گرده‌م‌م‌ثلی ۵۰ درصد نسبت به حالت سازه منحرف کننده جریان با رویه ساده آبشستگی داشته و در شرایط مشابه برای رویه گرده ماهی این نسبت ۷۰ درصد است. این شکل نیز نشان می‌دهد که در دبی‌های کم عملکرد سازه‌ها تاحدودی یکسان است، اما در دبی‌های نزدیک آستانه حرکت در زاویه ۴۵ درجه به دلیل مقاومت بیشتر در برابر جریان نسبت عمق آبشستگی افزایش می‌یابد.

شکل ۱۵ برای بررسی تأثیر تغییرپذیری‌ها در شکل رویه سازه حفاظتی منحرف کننده جریان تعریف شده است. در اینجا پارامتر عمق آبشستگی سازه منحرف کننده جریان با رویه م‌ثلی و گرده‌ماهی نسبت به عمق آبشستگی سازه منحرف کننده جریان با رویه مسطح ($d_{s_{max}^*}$) بی‌بعد شده‌اند. از این رو در این شکل ۱۵ پارامتر بی‌بعد عمق آبشستگی $\frac{d_s}{d_{s_{max}^*}}$ در برابر تغییر پارامتر بدون بعد سرعت نسبی $\frac{U}{U_c}$ ترسیم شده‌اند. این شکل به‌طور کامل گویای تأثیر تغییر شکل رویه سازه حفاظتی،

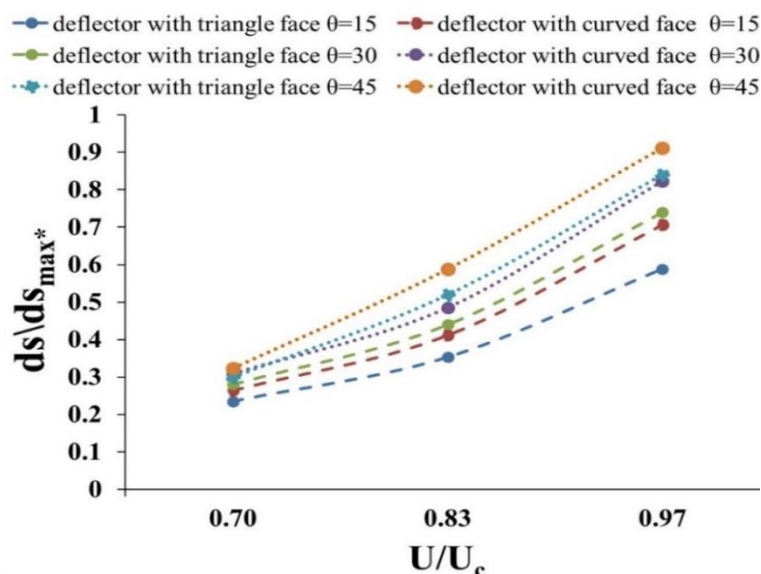


Fig. 15 dimensionless scouring depth for all scenarios against deflector angle

شکل ۱۵ تغییرات عمق آبشستگی در برابر پارامتر جریان و شکل نسبت به نمونه شاهد سازه منحرف کننده جریان با رویه ساده

آبشستگی مقابل پایه تند می‌باشد اما در پایه‌های محافظت شده این شیب بسیار کم بوده و در پایه رویه مثلثی (شکل A) بیشینه حفره آبشستگی ۱۰ میلی‌متر می‌باشد.

شکل ۱۶، الگوی بستر در شرایط آبشستگی نهایی زاویه ۱۵ درجه را برای پارامتر شکل با کمک نرم افزار Surfer نشان می‌دهد همان‌طور که مشخص است پروفیل مقابل پایه شکل C تا عمق ۶۰ میلی‌متر حفر شده و شیب

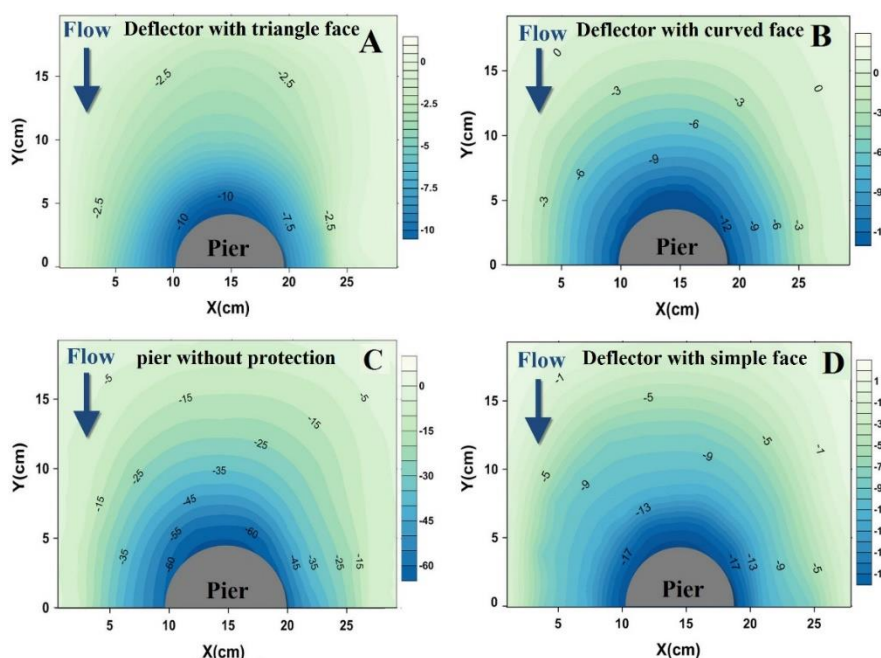


Fig. 16 Bed profile for deflector with 15° near inception motion point

شکل ۱۶ توپوگرافی بستر پیرامون پایه در شرایط نزدیک آستانه و زاویه سازه منحرف کننده جریان ۱۵ درجه

دلیل آن انحراف خطوط جریان نزدیک بستر بوده، که

تشکیل جریان پایین رونده را می‌دهند.

۲- در زمینه تأثیر شکل سازه منحرف کننده جریان این گونه می‌باشد که، در سازه منحرف کننده جریان با رویه مثلثی نسبت به دو حالت دیگر، انحراف جریان افزون بر اینکه به سمت بالا می‌باشد، شکل مثلثی آن باعث انحراف خطوط جریان به سمت همه جهتهای پایه شده و به کاهش تأثیر برخورد خطوط جریان با پایه و تشکیل سازوکار آبشستگی کمک می‌کند.

۳- در بهترین شرایط، سازه منحرف کننده جریان با زاویه گوه‌ای ۱۵ درجه، نسبت به راستای جریان با رویه مثلثی، در شرایط نزدیک به آستانه حرکت ذرات ($U/U_c = 0.97$)، دارای درصد کاهش عمق آبشستگی ۸۵ درصد است، که نسبت به حالت رویه گرده ماهی ۷۷ درصد و ساده ۷۵ درصد بیشترین میزان را دارد.

۴- با تغییر زاویه گوه سازه منحرف کننده جریان و افزایش آن از ۱۵ درجه به ۴۵ درجه مقاومت سازه در برابر

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، برای کاهش و کنترل عمق آبشستگی پیرامون پایه پل، از سازه منحرف کننده جریان با سطح رویه متفاوت استفاده شد. پس از نصب این سازه‌های حفاظتی تأثیر دو پارامتر شکل و جریان بر روی آن‌ها بررسی شد. وجود این سازه در مقابل پایه باعث شد، خطوط جریان از مقابل پایه به سمت بالا منحرف گردند. انحراف باعث می‌شود تا خطوط جریان پس از برخورد با پایه کمتر به سمت پایین منحرف شده، و جریان پایین رونده که در نهایت منجر به تشکیل گرداب‌های نعل‌اسبی و برخاستگی می‌گردند تضعیف شوند. از سوی دیگر افزایش زاویه سازه منحرف کننده جریان باعث می‌شود تا خود سازه حفاظتی نیز در برابر جریان مقاومت کرده و الگوی چاله آبشستگی توسعه یابد. نتایج استفاده از این سازه حفاظتی در زیر ارائه می‌شوند:

۱- ترکیب سازه حفاظتی منحرف کننده جریان و پایه، باعث کاهش عمق آبشستگی پیرامون پایه می‌شود. و

U_c	سرعت بحرانی (ms^{-1})
U^*_c	سرعت برشی (ms^{-1})
Y	عمق جریان (m)
T	زمان (t)
G_s	چگالی مخصوص ذرات رسوبی (بی بعد) نشانه های یونانی
θ	زاویه سازه منحرف کننده جریان (deg)
L	طول سازه منحرف کننده جریان (m)
ρ	چگالی (kgm^{-3})
μ	لزجت دینامیک ($kgm^{-1}s^{-1}$)
δ_g	ضریب یکنواختی رسوبها (بی بعد)

۶- منبع ها

Abousaeidi, Z., Qaderi, K., Ebrahimpour, M. and Ahmadi, M. (2018). Laboratory investigation of the effect of debris accumulation on the local scour at bridge pier and abutment. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25, 267-282. (In Persian)

Akhlaghi, E., Babarsad, M.S., Derikvand, E. and Abedini, M. (2020). Assessment the Effects of Different Parameters to Rate Scour around Single Piers and Pile Groups: A Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27, 183-197.

Chen, S.-C., Tfwala, S., Wu, T.-Y., Chan, H.-C. and Chou, H.-T. (2018). A hooked-collar for bridge piers protection: flow fields and scour. *Water*, 10, 1251

Chiew, Y.-M. (1995). Mechanics of riprap failure at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121, 635-643.

Ettema, R. (1980). Scour at Bridge Piers. Report No. 216, School of Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.

Gohari, S. and Rezaei, M. (2020). Investigating the effect of oblique bed sill on bridge pier scouring with circular cross-section. *Journal Management System*, 12, 100-114. (In Persian)

Karimi, N., Heidarnjad, M. and Masjedi, A. (2017). Scour depth at inclined bridge piers along a straight path: A laboratory study. *Engineering Science and Technology, An International Journal*, 20, 1302-1307.

جریان بیشتر شده و عمق آبشستگی افزایش می یابد. اما در سازه با رویه مثلثی این مقاومت به نسبت نمونه شاهد با رویه مسطح به میزان ۳۰ درصد کمتر است. ۵- با تغییر شرایط جریان و تأثیر پارامتر سرعت نسبی بدون بعد $\frac{U}{U_c} = 0.97, 0.83, 0.70$ و بررسی تأثیر جریان در میزان آبشستگی سازه ها، مشخص است در سازه منحرف کننده جریان ۱۵ درجه با افزایش پله های سرعت نسبی، افزایش عمق آبشستگی، شیبی یکنواخت و خطی دارد. اما در سازه ۴۵ درجه، در سرعت نزدیک آستانه، به دلیل مقاومت بیشتر، افزایش عمق آبشستگی مشاهده می شود.

۶- در حالت $\theta = 15^\circ$ و نزدیک آستانه، حرکت پایه با رویه مثلثی، ۵۰ درصد نسبت به دفلکتور با رویه ساده عمق آبشستگی داشته و در شرایط مشابه برای رویه گرده ماهی این نسبت ۷۰ درصد است.

۷- براساس نتایج، سازه منحرف کننده جریان با رویه گرده مثلثی نسبت به رویه گرده ماهی و مسطح، زاویه سازه تأثیر بسیاری در انحراف جریان نزدیک بستر و اصلاح الگوی جریان اطراف پایه و در نتیجه کاهش عمق آبشستگی دارد.

۵- فهرست نشانه ها

b	عرض فلوم (m)
d	قطر پایه (m)
d16	اندازه ذراتی که ۱۶ درصد مصالح از آنها کوچکترند (m)
d18	اندازه ذراتی که ۱۸ درصد مصالح از آنها کوچکترند (m)
d50	میانگن ذرات رسوبی (m)
ds	عمق آبشستگی (m)
dsmax	عمق آبشستگی تعادلی (m)
dsmax*	عمق آبشستگی سازه منحرف کننده جریان با رویه مسطح (m)
g	شتاب ثقل (ms^{-2})
Q	دبی (m^3/h)
Fr	فرود جریان (بی بعد)
Re	رینولدز جریان (بی بعد)
U	سرعت (ms^{-1})

- Shafae Bajestan, M., Hassanzadeh, H. and Paydar, G.R. (2018). Performance evaluation of correction coefficients to optimize sediment rating curves on the basis of the Karkheh dam reservoir hydrography, west Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 595. (In Persian)
- Shahsavari, H., Moradi, S. and Khodashenas, S. (2019). Influence of Semicircular Collar Diameter and Its Alignment on Scour Depth and Flow Pattern around Bridge Abutment. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51, 77-91. (In Persian)
- Solimani Babarsad, M., Hojatkah, A., Safaei, A. and Aghamajidi, R. (2021). Laboratory investigation of deflector structure effect on bridge pier scouring. *Irrigation Sciences and Engineering*, 43, 91-104. (In Persian)
- Solimani babarsad, M. and Safaei, A. (2021). Experimental Study of Scour Around Pier with Inclined Head. *Water Resources Engineering*, 14, 53-72. (In Persian)
- Solimani Babarsad, M., Safaei, A. and Aghamajidi, R. (2021). Laboratory Study of Cable and Sill Protection on Scouring Pattern Around the Bridge Pier. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52, 523-538. (In Persian)
- Vaghefi, M. and Meraji, S. (2019). The effect of 20% reduction in overlapping length of the upstream submerged vanes of bridge pier on bed topography in sharp 180 degree bend. *Modares Civil Engineering Journal*, 19, 41-55. (In Persian)
- Wang, L., Melville, B.W., Shamseldin, A.Y. and Nie, R. (2020). Impacts of Bridge Piers on Scour at Downstream River Training Structures: Submerged Weir as an Example. *Water Resources Research*, 56, 46-51.
- Zomorodian, S.M.A., Ghaffari, H. and Ghasemi, Z. (2019). Comparison of Linear and Triangular Arrangements of Submerged Sacrificial Piles on Local Scour Depth around Cylindrical Bridge Piers. *Irrigation Sciences and Engineering*, 42, 167-180. (In Persian)
- Kayatürk, Ş.Y. (2005). Scour and scour protection at bridge abutments, PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 213 p.
- Kumar, V., Raju, K.G.R. and Vittal, N. (1999). Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125, 1302-1305
- Lee, S.O. and Sturm, T.W. (2009). Effect of sediment size scaling on physical modeling of bridge pier scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135, 793-802.
- Melville, B.W. (1997). Pier and abutment scour: integrated approach. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123, 125-136.
- Melville, B.W. and Chiew, Y.-M. (1999). Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125, 59-65.
- Parchami, L., Asghari Pari, S.A. and Shafaei Bajestan, M. (2017). Experimental Investigation of Flat, Curved and Angled Submerged Vane's Placement Effect on Bridge Pier Scouring. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 40, 111-122. (In Persian)
- Rahimi, E., Qaderi, K., Rahimpour, M. and Ahmadi, M. (2017). Experimental Study on Effect of Debris Accumulation on Bridge Pier Scour. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 10, 786-796. (In Persian)
- Rajaratnam, N. and Ahmed, F. (1998). Flow around bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124, 288-300.
- Raudkivi, A. (1998). *Loose Boundary Hydraulics*. 4th edition. Balkema, Rotterdam, The Netherlands
- Raudkivi, A.J. and Ettema, R. (1983). Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109, 338-350.
- Safaei, A., Choramin, M., Khajavi, S., Parmoon, A.A. and Arezoo, A.A. (2015). Analyzing the affective parameters on the amount of bridge scour in the vicinity of the rough collar in laboratory model, *WALIA Journal*, 31(S4), 17-21.

