Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Investigating the use of submerged vanesin reducing scouring in downstream of stilling basin (Case study: Ziarat Masonary check dam)

Mohammad Ali Solbi[1], Mehdi Meftah Halaghi[*2], Amir Ahmad Dehghani[3], Abdolreza Zahiri[4]

1. Ph.D. Graduate of Water Structures, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mohamadalisolbi@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Structures, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: meftah@gau.ac.ir
3. Professor, Dept. of Water Civil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: a.dehghani@gau.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Water Structures, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: zahiri@gau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 11.14.2023
Revised: 04.06.2024
Accepted: 08.15.2024

Keywords:
Downstream of stilling basin,
Masonary check dam,
Scouring,
Submerged vanes

ABSTRACT

Background and Objectives: In my outflow from the stilling basin a significant part of the energy remains, therefore, in downstream of stilling basin Local Scour It usually happens. One of the recommended methods to reduce scouring is to use submerged vanes. The review of sources showed that so far no research has been done regarding the use of submerged vanes technique to control scouring in the downstream of stilling basin. On the other hand, according to the research done, physical model has not been used to know masonary check dam and its effects. Therefore, the mentioned items are among the innovations of this research.

Materials and Methods: Masonary check dam Tulbene On the Tul Bene River and in 24 kilometres south of city Gorgan with a length of 20 and a elevation of 6 meters and the length of the stilling basin is 10/5 meters. In order to identify the conditions of scour downstream of this structure, the physical model of this structure in the hydraulic laboratory, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources – Pardis. To do this, a concrete channel with a length of 9 meters, a width and a height of one meter has been built. To perform this test, the Masonary check dam of Ziarat madel of metal was modeled according to the facilities of the laboratory on a scale of 1/20. A digital depth gauge with an accuracy of 0.1 millimeters was used to measure the water level, and a bed profile measuring device with an accuracy of 1 millimeters was used to measure the newly created bed topography. Experiments at first for Recognizing the tests Conditions downstream scouring masonary check dam Ziarat has been carried out during 8 hours with a flow rate of 25 L/S. These tests were performed in three stages to identify the scour volume. In the first stage, the water passes through the overflow and all the pipes, in the next stage, the water enters the pond through the overflow and through the upper pipes. In the last stage, the tests were carried out if the water only passes through the overflow. In order to investigate the effect of submerged vanes on the reduction of scouring of downstream of stilling basin experiments have been conducted with the combination of plates at different angles and distances. In the first stage, plates with an angle of 20 degrees have been used by combining the plates in a converging manner and then in a zigzag

manner. In the second step, the angle of the plates was changed to 45 degrees. In this method, firstly, the combination of convergent plates and then the combination of divergent plates have bee used. In the third stage, composite plates are used

Results: The results showed that the best way to reduce scouring is to use divergent submerged vanes with an angle of 45 degrees and use zigzag plates with an angle of 20 degrees, which shows a scouring depth of 25 mm. Since diverging submerged vanes with an angle of 45 will actually wash the walls, the best way to reduce scour is a zigzag angle of 20 degrees. Also, the most scouring occurs in the case of using converging sunken plates with an angle of 20 degrees with a scouring depth of 95 mm.

Conclusion: Submerged vanes change the flow direction. Although these methods have caused less scouring than the base test, in general, in order for the scouring to be close to zero in the downstream of the stilling basin, more tests and different plate placement techniques are needed.

Cite this article: Solbi, Mohammad Ali, Meftah Halaghi, Mehdi, Dehghani, Amir Ahmad, Zahiri, Abdolreza. 2024. Investigating the use of submerged vanesin reducing scouring in downstream of stilling basin (Case study: Ziarat Masonary check dam). *Journal of Water and Soil Conservation*, 31 (3), 133-153.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2024.21922.3695
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹۴

بررسی استفاده از صفحات مستغرق در کاهش آب‌شستگی در پایاب حوضچه آرامش (مطالعه موردی: بند سنگی– ملاتی زیارت)

محمدعلی صلبی[۱]، مهدی مفتاح هلقی*[۲]، امیراحمد دهقانی[۳]، عبدالرضا ظهیری[۴]

۱. دانش‌آموخته دکتری سازه‌های آبی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mohamadalisolbi@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: meftah@gau.ac.ir
۳. استاد گروه مهندسی عمران آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: a.dehghani@gau.ac.ir
۴. دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: zahiri@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی– پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۲/۰۸/۲۳
تاریخ ویرایش: ۰۳/۰۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۰۳/۰۵/۲۵

واژه‌های کلیدی:
آب‌شستگی،
بند سنگی– ملاتی،
پایاب حوضچه آرامش،
صفحات مستغرق

چکیده

سابقه و هدف: در جریان خروجی از حوضچه‌های آرامش‌بخش قابل‌توجهی از انرژی باقی می‌ماند، بنابراین در پایین‌دست حوضچه‌های آرامش معمولاً آب‌شستگی موضعی رخ می‌دهد. یکی از روش‌های پیشنهادی برای کاهش آب‌شستگی، استفاده از صفحات‌مسغرق است. بررسی منابع نشان داد تاکنون پژوهشی در خصوص استفاده از تکنیک صفحات مستغرق برای کنترل آب‌شستگی در پایاب حوضچه آرامش انجام نشده است. از طرفی با توجه به پژوهش‌های انجام‌گرفته تاکنون برای شناخت سازه‌های سنگی ملاتی و تأثیرات آن از مدل فیزیکی استفاده نشده است. بنابراین موارد ذکرشده از نوآوری‌های این پژوهش است.

مواد و روش‌ها: بند سنگی–ملاتی تول‌بنه بر روی رودخانه تول‌بنه و در۲۴ کیلومتری جنوب شهرستان گرگان به طول ۲۰ و ارتفاع ۶ متر و طول حوضچه آرامش ۱۰/۵ متر قرار دارد. جهت شناسایی شرایط آب‌شستگی پایین‌دست این سازه مدل فیزیکی این سازه در آزمایشگاه هیدرولیک تحقیقات آب گروه مهندسی آب دانشکده مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان ساخته شده است. برای این منظور یک کانال بتنی به طول ۹ متر، عرض و ارتفاع یک متر ساخته شده است. برای انجام این آزمایش سازه سنگی– ملاتی زیارت از جنس فلز با توجه به امکانات آزمایشگاه به مقیاس $\frac{۱}{۲۰}$ ساخته شد. برای اندازه‌گیری سطح آب از دستگاه عمق‌سنج دیجیتالی با دقت ۰/۱ میلی‌متر و برای اندازه‌گیری، توپوگرافی جدید ایجادشده بستر، از دستگاه اندازه‌گیری پروفیل بستر با دقت ۱ میلی‌متر، استفاده شد. آزمایش‌ها در ابتدا برای شناسایی شرایط آب‌شستگی پایاب بند سنگی ملاتی زیارت در طول ۸ ساعت با دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه در سه مرحله انجام گرفت. در مرحله اول آب از روی سرریز و کلیه لوله‌ها عبور نماید،

در مرحله بعدی آب از روی سرریز و از درون لوله‌های بالایی وارد حوضچه می‌شود. در مرحله آخر آزمایش‌ها در صورتی که آب تنها از روی سرریز عبور نماید انجام گرفت. برای بررسی تأثیر صفحات مستغرق بر آب‌شستگی پایاب حوضچه آرامش آزمایش‌ها با ترکیب صفحات در زاویه‌ها و فواصل مختلف انجام شده است. در مرحله اول از صفحات با زاویه ۲۰ درجه با ترکیب صفحات به صورت همگرا و پس از آن به صورت زیگزاگ استفاده شده است. در مرحله دوم زاویه صفحات به ۴۵ درجه تغییر پیدا کرد. در این روش ابتدا از ترکیب صفحات همگرا و پس از آن از ترکیب صفحات به صورت واگرا استفاده شده است. در مرحله سوم از صفحات ترکیبی استفاده شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بهترین حالت برای کاهش آب‌شستگی اجرای صفحات مستغرق واگرا با زاویه ۴۵ و استفاده از صفحات زیگزاگی با زاویه ۲۵ درجه می‌باشند که عمق آب‌شستگی ۲۵ میلی‌متر را نشان می‌دهد. از آن‌جا که صفحات مستغرق واگرا با زاویه ۴۵ در عمل موجب شسته شدن دیواره‌ها خواهد شد بهترین روش برای کاهش آب‌شستگی، زاویه زیگزاگی ۲۰ درجه است. هم‌چنین بیش‌ترین آب‌شستگی در حالت استفاده از صفحات مستغرق همگرا با زاویه ۲۰ درجه با عمق آب‌شستگی ۹۵ میلی‌متر اتفاق می‌افتد.

نتیجه‌گیری: صفحات مستغرق موجب تغییر مسیر جریان می‌شوند. گرچه این روش‌ها موجب آب‌شستگی کم‌تری نسبت به آزمایش مبنا شده‌اند، اما درمجموع برای این‌که آب‌شستگی در پایین‌دست حوضچه آرامش، به صفر نزدیک شود نیازمند آزمایش‌ها و تکنیک‌های جای‌گذاری صفحات متفاوت بیش‌تری می‌باشد.

استناد: صلبی، محمدعلی، مفتاح هلقی، مهدی، دهقانی، امیراحمد، ظهیری، عبدالرضا (۱۴۰۳). بررسی استفاده از صفحات مستغرق در کاهش آب‌شستگی در پایاب حوضچه آرامش (مطالعه موردی: بند سنگی- ملاتی زیارت). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۱ (۳)، ۱۵۳-۱۳۳.

DOI: 10.22069/jwsc.2024.21922.3695

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

بررسی مسأله آب‌شستگی در پایین‌دست سازه آبی یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های هیدرودینامیکی است از طرفی تخمین عمق آب‌شستگی سازه از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین پژوهش‌گران بر مبنای کارهای آزمایشگاهی و صحرایی روابط تجربی متعددی ارائه داده‌اند نتایج سیدان و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد ترکیب روابط منفرد حداکثر عمق آب‌شستگی با استفاده از روش‌های مختلف ترکیبی می‌تواند دقت پیش‌بینی را بهبود بخشد (۱).

سازه‌های تقاطعی مانند بند سنگی – ملاتی با تغییر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری تأثیرات زیاد بر هندسه و مشخصات رودخانه برجای می‌گذارد. ازآنجایی‌که رسوبات در مخزن پشت سازه بند سنگی– ملاتی تله‌اندازی می‌شود، آب خارج‌شده از بند سنگی– ملاتی دارای ظرفیت حمل رسوب بالایی بوده و منجر به فرسایش کناره‌ها و بستر گردیده و در پایین‌دست کف‌کنی رخ می‌دهد. درصورتی‌که هیچ نوع کار حفاظتی و یا ساماندهی صورت نگیرد، این مسأله می‌تواند آسیب جدی به سازه ایجاد کند.

هدف اصلی از ایجاد حوضچه‌های آرامش، استهلاک انرژی و کاهش فرسایش ناشی از جریان است. بااین‌وجود در جریان خروجی از حوضچه‌های آرامش‌بخش قابل‌توجهی از انرژی باقی می‌ماند، بنابراین در پایین‌دست حوضچه‌های آرامش معمولاً آب‌شستگی موضعی رخ می‌دهد. یکی از روش‌های پیشنهادی برای کاهش آب‌شستگی، استفاده از صفحات مستغرق است. البته استفاده از این صفحات درون حوضچه آرامش معمول نیست و استفاده از صفحات مستغرق معمولاً در دهانه آبگیر جهت جلوگیری از ورود رسوبات و هم‌چنین جلوگیری از آب‌شستگی بستر و کنار رودخانه‌ها و کانال‌ها و جلوگیری از آب‌شستگی کنار پایه پل‌ها استفاده می‌شود.

مطالعات مختلفی درباره استفاده از صفحات مستغرق کنار پایه‌های پل انجام‌شده است. قربانی و کلز (۲۰۰۸) تأثیر صفحات مستغرق را در کاهش آب‌شستگی موضعی در کنار پایه استوانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که صفحات دوگانه با زاویه ۱۸/۵ درجه عمق آب‌شستگی را ۸۷/۷ درصد کاهش داد (۲). هم‌چنین مطالعاتی برای استفاده از صفحات مستغرق در آبگیرها انجام شده است. بارانی و شاهرخی (۲۰۱۳) تأثیر این صفحات در آبگیرها را بررسی کرده، محدودیت‌ها و راه‌کارهایی برای تأثیر بهتر این صفحات ارائه نمودند که کاهش ۶۰ درصدی رسوب در آبگیرها از جمله نتایج این پژوهش است (۳).

مطالعاتی نیز در رابطه با ارتباط سواحل رودخانه و صفحات مستغرق انجام شده است. جانسون و همکاران (۲۰۰۱) تأثیر تعداد صفحات مستغرق را بر حفاظت از ساحل رودخانه تثبیت‌شده بررسی کردند نتایج ایشان نشان داد که استفاده از ۲ صفحه مستغرق تأثیر به‌سزایی در کاهش عمق آب‌شستگی دارد (۴). آزمایش خادمی و شفاعی بجستان (۲۰۱۳) نشان داد با نصب صفحه مستغرق الگوی جریان نزدیک‌شونده تغییر می‌کند و باعث کاهش عمق آب‌شستگی در محل تکیه‌گاه تا ۱۰ درصد می‌شود (۵).

صفحات مستغرق تأثیر متفاوتی بر روی جریان آب می‌گذارد. بنابراین می‌توان با تغییراتی از این صفحات در کنترل آب‌شستگی قسمت‌های مختلف سازه استفاده نمود. راجاراتنام و هرتیگ (۲۰۰۰) نشان دادند، یک صفحه با روزنه‌هایی به مساحت ۴۰ درصد سطح صفحه می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای بلوک‌ها یا سایر ضمایم موجود در حوضچه‌های آرامش در سازه‌های هیدرولیکی کوچک قرار گیرد. (۶) از مواردی که وجود صفحات مستغرق می‌تواند اثرگذار باشد در پایین‌دست پرش هیدرولیکی است. نتایج

پژوهش عزیزی و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که این صفحات می‌توانند باعث کاهش عمق پایاب موردنیاز برای ایجاد پرش به مقدار ۱۰ درصد و افزایش ضریب نیروی برشی تا حدود ۱۲ برابر نسبت به بستر صاف شوند. هم‌چنین طول پرش نیز در بهترین حالت با کاهش ۲۵ درصدی روبرو خواهد شد (۷).

مطالعات اودگارد و وانگ (۱۹۹۱) نشان داد، تکنیک صفحات مستغرق شایستگی کاربرد به‌عنوان تکنیک کلی کنترل رسوبات در رودخانه‌ها را دارد (۸) مطالعات اویانگ (۲۰۰۹) نشان داد ارتفاع بهینه صفحات به طول صفحات بستگی دارد و برابر با عمق جریان می‌باشد (۹).

بعضی از پژوهش‌گران نیز تأثیر زاویه قرارگیری صفحات مستغرق را بر روی آب‌شستگی بررسی نمودند. مشاهدات تن و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد کارایی صفحات در منحرف نمودن رسوبات به زاویه قرارگیری صفحات، طول و ارتفاع آن‌ها وابسته است. در این پژوهش زاویه بهینه قرارگیری صفحات ۳۰ درجه و ارتفاع بهینه صفحات ۲ تا ۳ برابر ارتفاع فرم‌های بستر ایجاد شده، تعیین شد (۱۰). طبق یافته شروتی و همکاران (۲۰۱۷) با افزایش زاویه قرارگیری صفحات مستغرق رسوب‌گذاری نیز افزایش می‌یابد (۱۱). هم‌چنین مقدار ورود رسوب به کانال آبگیر با افزایش تعداد ردیف‌ها کاهش می‌یابد و با افزایش فاصله بین صفحات افزایش می‌یابد. اسماعیلی‌ورکی و فرهودی (۲۰۰۹) بر روی اثر زاویه آبگیری بر مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر در بند انحرافی آزمایش‌هایی را انجام و بیان کردند با افزایش زاویه آبگیری از ۹۰ درجه به ۱۱۰ درجه میزان رسوب ورودی ۲۵/۱ درصد کاهش می‌یابد (۱۲).

صفحات مستغرق کاربردهای متنوع و متفاوتی در سازه‌های مختلف هیدرولیکی داشته‌اند و ایده استفاده از صفحات مستغرق رو به گسترش است. تاکنون پژوهش‌های آزمایشگاهی میدانی بسیاری برای اصلاح و مدیریت رسوبات توسط صفحات مستغرق صورت گرفته است. باوجود مطالعات گسترده در زمینه صفحات مستغرق هنوز ضوابط عمومی برای طراحی مطمئن صفحات مستغرق ارائه نشده و کاربرد نتایج تجربی و نیمه‌تجربی موجود برای شرایط محدودی توصیه شده است. بخش عمده‌ای از این مطالعات به بررسی متغیرهایی مانند ابعاد صفحات، فواصل طولی و عرضی صفحات، زاویه نصب صفحات و جانمایی صفحات در قوس و مجاورت ورودی دهانه آبگیر و یا پایه‌های پل اختصاص یافته است. البته به طور پراکنده برای بعضی دیگر از سازه‌ها نیز استفاده شده است. اما بررسی منابع نشان داد تاکنون پژوهشی در خصوص استفاده از تکنیک صفحات مستغرق برای کنترل آب‌شستگی در پایاب حوضچه آرامش انجام نشده است. از طرفی با توجه به پژوهش‌های انجام‌گرفته تاکنون برای شناخت سازه‌های سنگی- ملاتی و تأثیرات آن از مدل فیزیکی استفاده نشده است. بنابراین موارد ذکر شده از نوآوری‌های این پژوهش است.

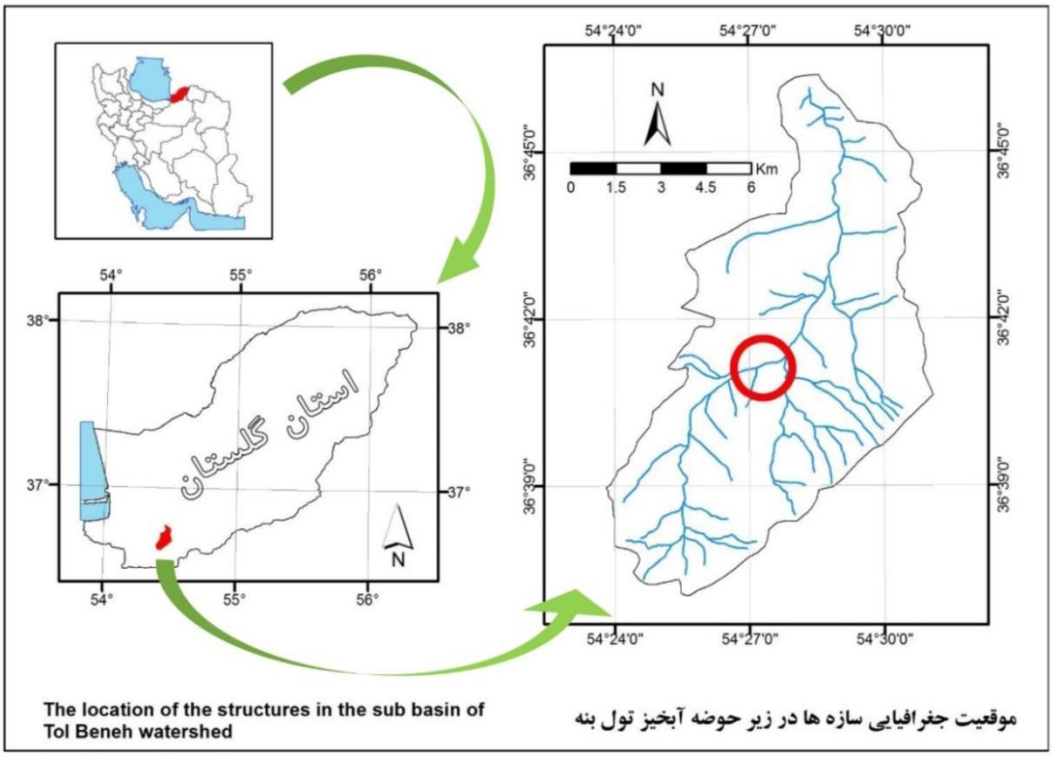
مواد و روش‌ها

رود تول‌بنه شاخه‌ای از رودخانه زیارت است که از کوه‌های بالا چال، تل انبار و سر لپه واقع در حدود ۲۴ کیلومتری جنوب شهر گرگان سرچشمه می‌گیرد و در جنوب‌غربی روستای زیارت با رودخانه آبشار به‌هم‌پیوسته و به رودخانه زیارت می‌ریزد. رودخانه زیارت، از سرشاخه‌های رودخانه قره‌سو محسوب شده و در جنوب شهرستان گرگان قرار دارد.

بند سنگی- ملاتی تول‌بنه با مختصات، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۶ دقیقه و ۵۷ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه و ۶ ثانیه در سه کیلومتری جنوب‌غربی روستای زیارت به طول ۲۰ و

ارتفاع ۶ متر و طول حوضچه ۱۰/۵ متر قرار دارد. جهت شناسایی شرایط آب‌شستگی پایین‌دست این سازه مدل فیزیکی این سازه در آزمایشگاه ساخته شده است و مراحل زیر انجام گرفته است. شکل ۱ موقعیت بند سنگی- ملاتی تول بنه را نشان می‌دهد.

q

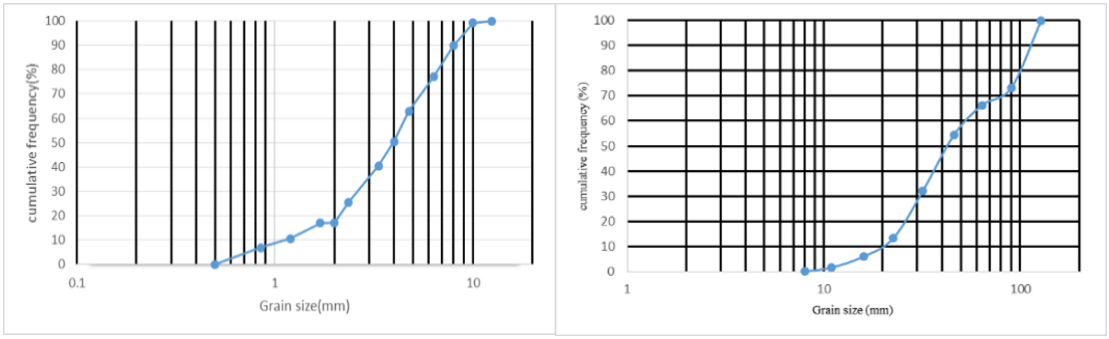


شکل ۱- موقعیت بند سنگی- ملاتی تول بنه.

Figure 1. Position of mortar stone Tule bene.

برای بررسی و شناخت توپوگرافی بستر رودخانه در پایین‌دست سازه سنگی- ملاتی نقشه‌برداری از بستر پایین‌دست سازه و هم‌چنین برای بررسی دانه‌بندی بستر رودخانه، نمونه‌گیری از مصالح رودخانه در پایین‌دست و بالادست سازه انجام‌گرفته است. نمونه‌برداری از ذرات سطحی که معمولاً درشت‌تر هستند، با استفاده از یک قالب مربعی به ابعاد ۶۰ سانتی‌متر مربع (روش نمونه‌برداری سطحی) صورت گرفته است[1] در این روش تعدادی از دانه‌های سطحی که روی یک سطح مشخص تعریف شده قرار دارند انتخاب و برداشته می‌شود و یا توسط عکس‌برداری از دانه‌ها تصویر تهیه می‌گردد. کریشتین و همکاران (۲۰۰۱) (۱۳) مصالح پایینی بار بستر از روش نمونه‌گیری حجمی استفاده شده است. در نمونه‌برداری حجمی از یک حجم یا جرم از پیش تعریف شده از بستر رودخانه برداشت می‌شود. رسوبات زیرسطحی به عمق حداقل دو برابر بزرگ‌ترین قطعه سنگ برداشته می‌شود (نشریه شماره ۳۴۹، (۲۰۰۵) (۱۴). شکل ۲- الف- دانه‌بندی مصالح پایین‌دست بستر اصلی رودخانه و شکل ۲- ب- دانه‌بندی مصالح بستر در مدل سازه سنگی ملاتی را نشان می‌دهد.

1- Pebble Count



شکل ۲- الف- دانه‌بندی مصالح موجود در پایین‌دست سازه، ب- نمودار دانه‌بندی مصالح بستر در مدل.

Figure 2. A. Size distribution of bed material (Downstream of check dam), B. Size distribution of bed material in the model.

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک تحقیقات آب گروه مهندسی آب دانشکده مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان انجام شده است. برای این منظور یک کانال بتنی به طول ۹ متر، عرض و ارتفاع یک متر ساخته شده است. در جداره کانال جهت مشاهده آب‌شستگی از یک شیشه سکوریت به قطر ۱۰ میلی‌متر استفاده شده است. در کنار کانال اصلی از یک مخزن فرعی جهت ذخیره و انتقال آب استفاده شده است. آب توسط پمپ از مخزن ذخیره به مخزن آرام‌کننده ابتدای کانال وارد می‌شود. قبل از ورود آب به مخزن آرام‌کننده، برای اندازه‌گیری جریان از یک کنتور با دقت ۰/۱ لیتر بر ثانیه استفاده شده است. برای انجام این آزمایش سازه سنگی- ملاتی زیارت از جنس فلز با توجه به امکانات آزمایشگاه به مقیاس $\frac{۱}{۲۰}$ و با ابعاد زیر مدل شد. است. هم‌چنین با توجه به امکانات آزمایشگاه میزان دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه انتخاب شد که نزدیک به دبی با دور بازگشت ۲۵ ساله (۴۵ مترمکعب در ثانیه) در سازه اصلی بوده است. شکل ۳ سازه مدل شده بند سنگی- ملاتی زیارت و دستگاه اندازه‌گیری پروفیل بستر را درون کانال نشان می‌دهد.

جدول ۱- ابعاد سازه اصلی و مدل.

Table 1. Dimensions of the prototype and model structure.

ردیف Row	قسمت سازه Structural part	ابعاد سازه اصلی (متر) Dimensions of prototype (m)	ابعاد مدل سازه (سانتی‌متر) Dimensions of model (cm)
۱	طول تاج سرریز Check dam weir length	20	200
۲	طول حوضچه آرامش Stilling basin length	10.5	52.5
۳	ارتفاع قائم سازه Check dam Height	6	30
۴	قطر لوله‌ها Diameter of pipes	0.6	3
۵	قطر متوسط ذرات D_{50}	0.4	0.4



شکل ۳- کانال و دستگاه اندازه‌گیری پروفیل بستر.

Figure 3. Channel and bed profile measuring device.

پس از دانه‌بندی و محاسبات مربوط به مقیاس مدل فیزیکی و هیدرولیکی مصالح برای قرار گرفتن در بستر کانال برحسب مقیاس $\frac{۱}{۲۰}$ انتخاب می‌شوند. انتخاب این مقیاس به‌منظور شبیه‌سازی جریان زبر و آشفته و بر اساس دبی حداکثر سیلاب انجام شده است. برای شبیه‌سازی فیزیکی بستر متحرک. یالین (۱۹۷۱) رابطه‌ای ارائه داده است. در این رابطه جریان باید آشفته و زبر بوده و مصالح نیز شن یا ماسه باشند (۱۵).

لازم به ذکر است برای رسیدن به دانه‌بندی مطلوب باید ابتدا پس از مخلوط نمودن مصالح پیشنهادی و رسم نمودار دانه‌بندی با سعی و خطا دانه‌بندی موردنیاز را به دست آورد. سپس مصالح با دانه‌بندی موردنیاز به قطر ۲۰ سانتی‌متر در چهار لایه بر روی بستر قرارگرفته است. برای اندازه‌گیری سطح آب از دستگاه عمق‌سنج دیجیتالی[1] با دقت ۰/۱ میلی‌متر و برای اندازه‌گیری، توپوگرافی جدید ایجاد شده بستر، از دستگاه اندازه‌گیری پروفیل بستر[2] با دقت ۱ میلی‌متر، استفاده شد.

انجام آزمایش برای شناخت آب شستگی پایین‌دست حوضچه آرامش (آزمایش مبنا): برای شناسایی آب‌شستگی پایاب بند سنگی- ملاتی زیارت، سه آزمایش به‌عنوان آزمایش مبنا انجام شد. این آزمایش‌ها در طول ۸ ساعت با دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه انجام گرفته است. در مرحله اول آب از روی سرریز و داخل کلیه لوله‌ها عبور نماید. شکل ۴ خروج آب از کلیه لوله‌ها و سرریز در آزمایش مبنا را نشان می‌دهد. در مرحله بعدی آب از روی سرریز و از درون لوله‌های بالایی وارد حوضچه می‌شود. در مرحله سوم لوله‌های پایینی و بالایی کاملاً بسته شده و آب فقط از روی سرریز وارد حوضچه آرامش شده است.

1- Point Gage
2- Bed profailer



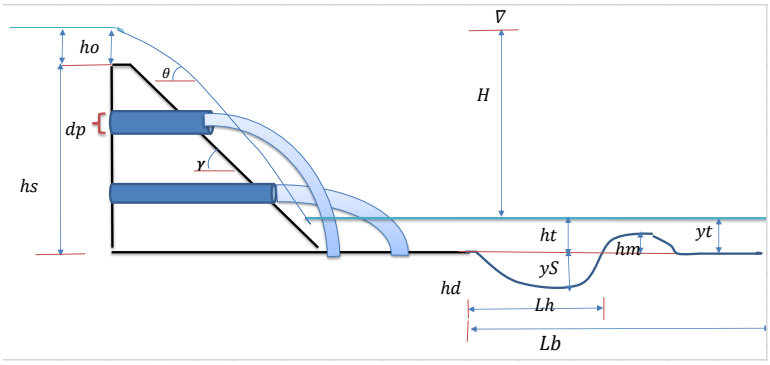
شکل ۴- خروج آب از کلیه لوله‌ها و سرریز.

Figure 4. Water outflow from all pipes and spills.

آزمایش انجام شده در این پوهش با روابط شوکلیچ (۱۹۳۲) (۱۶) برمن و جولین (۱۹۹۱) (۱۷) اسکورلوک و همکاران، (۱۹۹۴) (۱۸) فهلبوش (۱۹۹۴) (۱۹) کاتالکی و همکاران (۱۹۷۳) (۲۰) نواک (۱۹۵۵) (۲۱) نواک (۱۹۶۱) (۲۲) فرهودی و اسمیت (۱۹۸۵) (۲۳) و فرهودی و اسمیت (۱۹۸۲) (۲۴) درگاهی (۲۰۰۳) (۲۵) مقایسه شدند.

تحلیل ابعادی: عوامل مختلفی بر روی آب‌شستگی پایین‌دست حوضچه آرامش مؤثر می‌باشند و هندسه حفره آب‌شستگی را می‌توان تابع عامل‌های زیر دانست:

$$\mathcal{F}\left(q,H,yt,\rho,s_g,g,\rho_s,\mu,v,D_s,y_s,h_d,d_p,n_p\right)=0 \qquad (۱)$$



شکل ۵- ویژگی‌های جریان آب و رسوب در سازه سنگی ملاتی.

Figure 5. Water flow and sediment profile in Masonary check dam.

که در آن، D_s اندازه ذرات رسوبی بستر برحسب متر، g شتاب ثقل برحسب متر بر مجذور ثانیه، ρs چگالی ویژه ذرات برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، ρ چگالی ویژه سیال برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، μ لزجت دینامیکی سیال برحسب پاسکال ثانیه، y_t عمق جریان در پایاب حوضچه آرامش برحسب متر، v سرعت جریان برحسب متر بر ثانیه، q دبی جریان در واحد عرض، H اختلاف تراز آب بالادست و پایین‌دست، h_d بار آبی بالادست، S_g چگالی ویژه مواد، y_s عمق آبشویی از کف بستر اولیه، d_p قطر لوله و n_p شماره لوله است.

تعداد پارامترها ۱۴ عدد هستند، بنابراین با توجه به روش تحلیل ابعادی پی‌باکینگهام ۱۱ عدد بی بعد به صورت رابطه ۲ ارائه می‌شود. این روابط با در نظر گرفتن مجموعه عوامل مؤثر بر پدیده آب‌شستگی در پایین‌دست حوضچه آرامش بوده است.

$$f\left(n_p, \frac{\rho_s}{\rho}, R_e, fr^2\ \frac{h_d}{Y_t}, \frac{y_s}{Y_t}, \frac{d_p}{Y_t}, S_g\ \frac{D_S}{Y_t}, \frac{\mathrm{H}}{Y}, \frac{\mathrm{Q}}{V_{y^2}}\right) = 0 \qquad (۲)$$

به دلیل آشفته بودن جریان از عدد رینولدز صرف‌نظر می‌شود. هم‌چنین به علت ثابت بودن نوع مواد بستر $\frac{\rho_s}{\rho}$ و S_g از معادله حذف می‌شود. با توجه به تأثیر یکسان سرعت و دبی یکی از آن‌ها انتخاب می‌شود. با توجه به ثابت بودن قطر لوله $\mathrm{d_p}$ نیز از معادله حذف می‌شود و با توجه به تأثیر یکسان H و $\mathrm{h_d}$ یکی از این دو انتخاب می‌شود. بنابراین رابطه ۲ را می‌توان به صورت رابطه ۳ نوشت:

$$\frac{y_s}{Y_t} = f\left(fr^2, n_p, \frac{D_S}{y}, \frac{H}{Y}\right) = 0 \qquad (۳)$$

انجام آزمایش‌ها استفاده از صفحات مستغرق: برای بررسی تأثیر صفحات مستغرق بر کاهش آب‌شستگی پایاب حوضچه آرامش آزمایش‌ها با ترکیب صفحه‌های مختلف انجام شده است. صفحات در ارتفاع ۲ و عرض ۵ سانتی‌متر از جنس ورق گالوانیزه در زاویه‌ها و فواصل مختلف ساخته شده‌اند. در مرحله اول صفحات با زاویه ۲۰ درجه به صورت همگرا و پس از آن به‌صورت زیگزاگ استفاده شده است. در مرحله دوم از زاویه ۴۵ درجه صفحات به صورت واگرا و سپس همگرا استفاده شد. شکل ۶ آرایش صفحات مستغرق به‌صورت ۴۵ درجه واگرا را نشان می‌دهد. در تمامی مراحل بالا آزمایش‌ها در صورتی انجام شد که لوله‌های پایینی و بالایی کاملاً بسته شده و آب فقط از روی سرریز وارد حوضچه شده است. در مرحله سوم از صفحات ترکیبی استفاده شده است. از آن‌جا که تلفات انرژی در این روش تفاوت چشم‌گیر با روش‌های دیگر داشته است روش انجام آزمایش‌ها نیز متغیر بوده است. در این مرحله ابتدا عبور جریان آب از سرریز و همه لوله‌ها انجام می‌شود. سپس هدایت جریان آب از سرریز و لوله‌های بالا انجام شده است. در مرحله آخر لوله‌های پایینی و بالایی کاملاً بسته شده و آب فقط از روی سرریز وارد حوضچه شده است. شکل ۷ آرایش صفحات در روش صفحات ترکیبی را نشان می‌دهد.



شکل ۶- صفحات مستغرق ۴۵ درجه واگرا.

Figure 6. 45 degree divergent submerged plates.



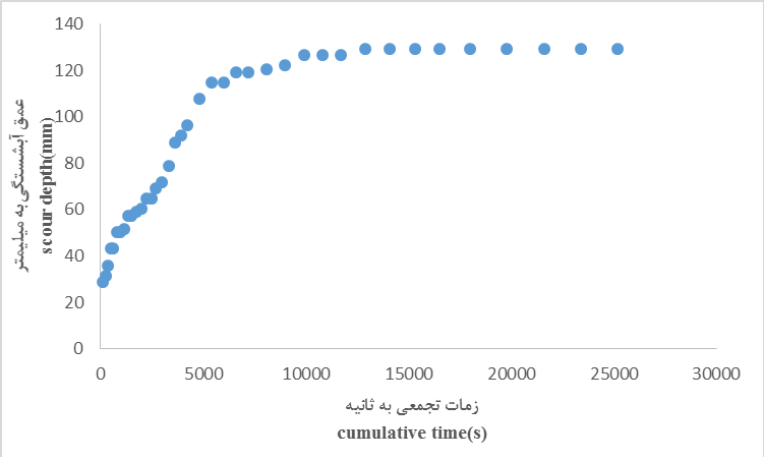
شکل ۷- آرایش صفحات در روش صفحات ترکیبی.

Figure 7. The arrangement of the plates in the combined plate method.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات زمانی حداکثر عمق آب‌شستگی: قبل از انجام آزمایش‌ها لازم است زمان تعادل آزمایش‌ها برآورد گردد. برای این منظور تغییرات حداکثر عمق آب‌شستگی در حالت مبنا در طول زمان بررسی گردید روند تغییرات آب شستگی در طی ۸ ساعت نشان می‌دهد که روند آب‌شستگی در ساعات اولیه، سریع‌تر بوده و کم‌کم از سرعت آن کاسته می‌شود. تغییرات زمانی حداکثر عمق آب‌شستگی در شکل ۸ نشان داده شده است. نمودار نشان می‌دهد مقدار آب‌شستگی در ۴ ساعت اولیه به بالاترین سطح خود می‌رسد و از آن پس روند آب‌شستگی ثابت می‌ماند.

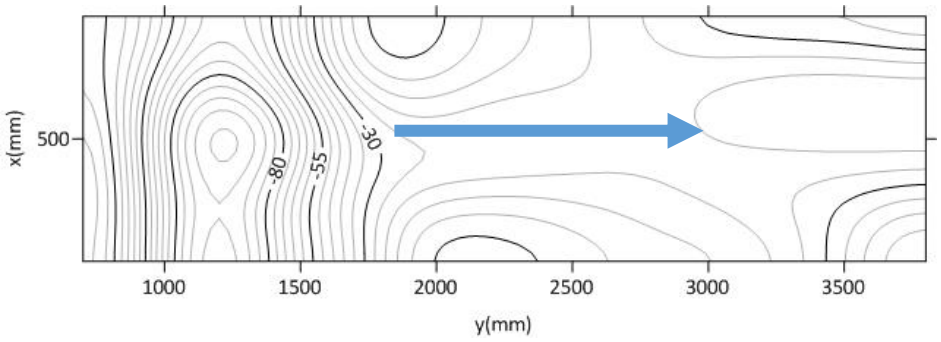
نتایج نشان می‌دهد در دقیقه اول، ۲۰ میلی‌متر آب‌شستگی معادل ۱۵ درصد و در ۲۵ دقیقه اولیه ۵۷ میلی‌متر آب‌شستگی معادل ۴۴ درصد انجام گرفته است که نشان‌دهنده سرعت بسیار زیاد فرآیند فرسایش‌پذیری و تشکیل حفره در ابتدای شروع آزمایش‌ها بوده است. هم‌چنین میزان آب‌شستگی در دقیقه ۷۰ به ۹۶ میلی‌متر، معادل ۷۳ درصد و در دقیقه ۹۰ به ۱۱۴ میلی‌متر معادل ۸۵ درصد رسیده است. مقدار آب‌شستگی در دقیقه ۱۳۵ به میزان ۱۲۶ میلی‌متر رسیده که بیانگر ۹۷ درصد آب‌شستگی حداکثر بوده است.



شکل ۸- آزمایش تغییرات آب‌شستگی در طی زمان.

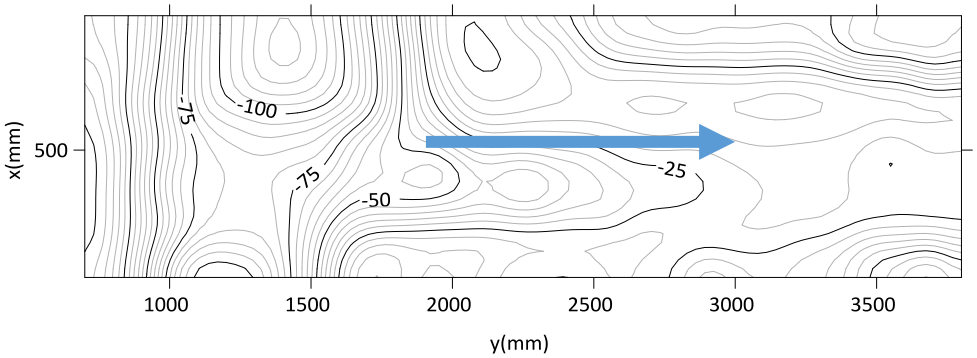
Figure 8. Testing Scour changes in over time.

آزمایش‌ها جهت شناسایی آب‌شستگی: آزمایش‌ها انجام شده جهت شناسایی آب شستگی نشان می‌دهد، هنگامی‌که لوله‌ها به کلی بسته باشند و آب از سرریز عبور کند بیش‌ترین آب شستگی رخ می‌دهد و در شرایطی که آب از روی سرریز و از درون لوله‌های بالایی وارد حوضچه می‌شود به کم‌ترین حد خود می‌رسد. شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ پروفیل دوبعدی آزمایش شناسایی آب‌شستگی را نشان می‌دهند.



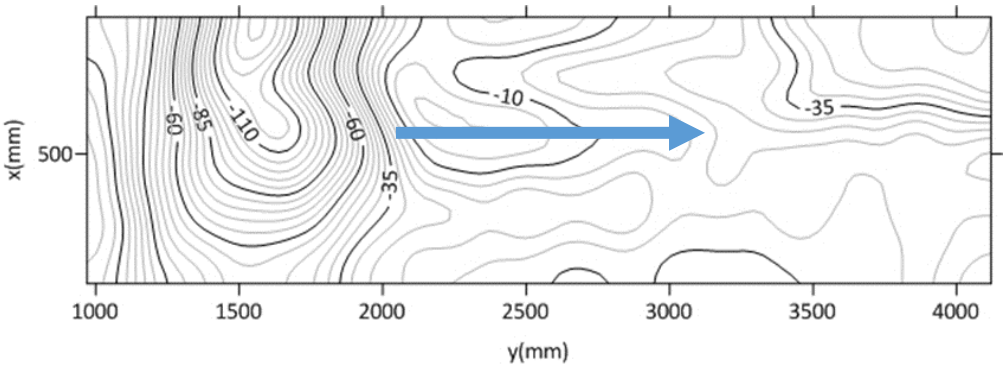
شکل ۹- پروفیل دوبعدی آزمایش در شرایطی‌که آب از همه لوله‌ها به همراه سرریز خارج می‌شود.

Figure 9. Two-dimensional test profile in which water is discharged from all pipes with the spilway.



شکل ۱۰- پروفیل دوبعدی آزمایش در شرایطی که آب از لوله بالا به همراه سرریز خارج می‌شود.

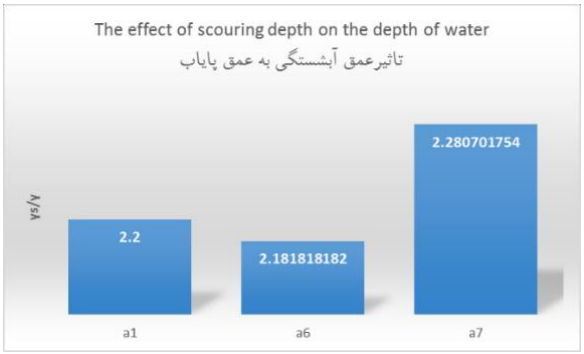
Figure 10. Two-dimensional test profile in which water comes out of the top pipe with the spilway.



شکل ۱۱- پروفیل دوبعدی آزمایش در شرایطی که آب تنها از روی سرریز عبور می‌کند.

Figure 11. Two-dimensional profile of the experiment in which water passes only over with the spilway.

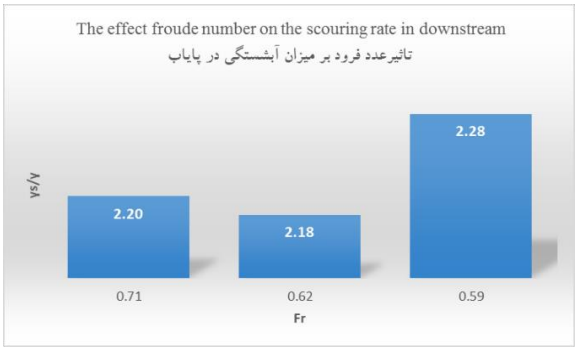
بررسی حداکثر عمق آب‌شستگی در شرایط مختلف آزمایش: در نمودار ۱۲ تغییرپذیری‌های نسبت حداکثر عمق آب‌شستگی ys به عمق آب پایاب y_t در شرایط مختلف آزمایش نشان داده‌شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، با افزایش دبی و ارتفاع آب پشت سازه، بیشینه عمق آب‌شستگی بیش‌تر می‌شود. آزمایش‌ها نشان داد، هنگامی‌که لوله‌ها به کلی بسته باشند و آب از سرریز عبور می‌کند، بیش‌ترین تغییرپذیری نسبت حداکثر عمق آب‌شستگی به عمق آب رخ می‌دهد و در شرایطی که جریان آب از سرریز و کل لوله‌ها خارج می‌شود، این تغییرپذیری بهترین حد خود می‌رسد.



شکل ۱۲- تغییرات نسبت (y_s/y_t) درآزمایش‌های مختلف.

Figure 12. Variation of (y_s/y_t) for different experiments.

بررسی تأثیر عدد فرود جریان پایین‌دست بر میزان آب‌شستگی در پایاب سازه: شکل ۱۳، تغییرپذیری‌های y_s/y_t برحسب عدد فرود پایین‌دست را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد، هرچه عدد فرود جریان بیش‌تر باشد میزان y_s/y_t نیز بیش‌تر است. بنابراین با افزایش عدد فرود که اغلب با کاهش عمق آب روی حفره آب‌شستگی نیز همراه است، بیشینه عمق آب‌شستگی نیز افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد افزایش سرعت آب و هم‌چنین جت‌های خروجی از سازه در این پدیده مؤثر است.



شکل ۱۳- تغییرپذیری‌های نسبت (y_s/y_t) در مقایسه با عدد Fr در آزمایش‌های مختلف.

Figure 13. The variation of (y_s/y_t) against Fr for different experiments.

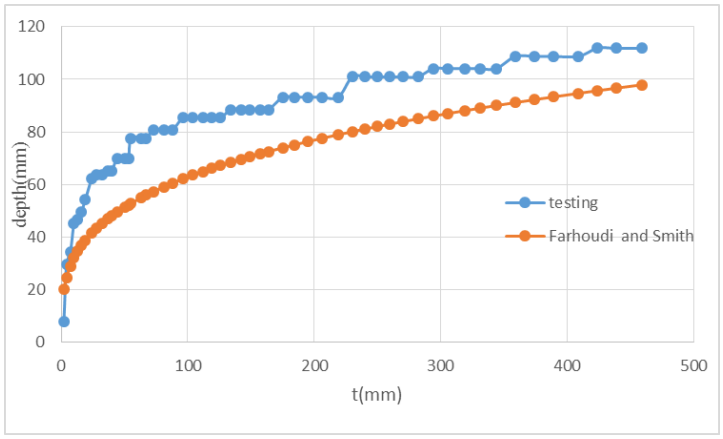
همان‌طور که قبلاً اشاره شد آزمایش انجام شده در این پژوهش با روابط مختلف پژوهش‌گران گذشته مقایسه شد. از بین روابط نام‌برده شده در بالا رابطه فرهودی و اسمیت (۱۹۸۲، ۱۹۸۵) و درگاهی (۲۰۰۳) بیش‌ترین نزدیکی را به نتایج آزمایش‌های این پژوهش دارند. جدول ۲ آزمایش‌های انجام شده را در مقایسه

با رابطه‌های تجربی نشان می‌دهد. هم‌چنین نمودارهای ۱۰ و ۱۱ مقایسه نتایج به دست آمده در آزمایش‌ها را با نتایج به دست آمده از رابطه‌های درگاهی (۲۰۰۳) و فرهودی اسمیت (۱۹۸۲، ۱۹۸۵) را نشان داده‌اند.

جدول ۲- مقایسه میزان بیشینه آب‌شستگی در این آزمایش با رابطه‌های تجربی.

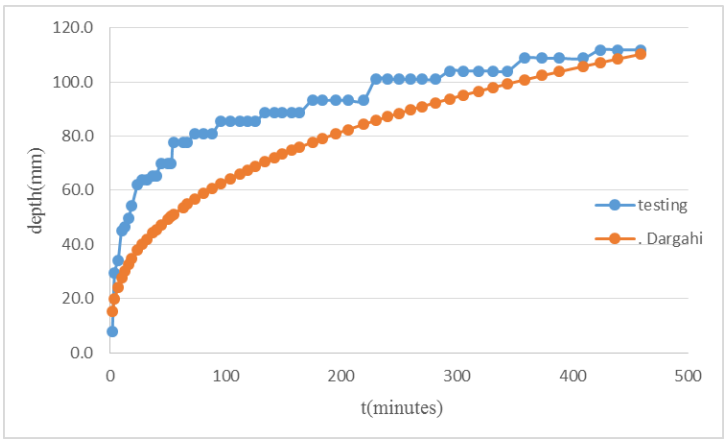
Table 2. Comparison of maximum scour depth from emprical formulas and experimental results.

scour depth difference (mm)	Maximum scour in the experiment (mm)	Maximum scour for emprical formula (mm)	empirical formula	Row
-48	112	160	Borman and Julien (1991)	1
54	112	58	Scurlock et al. (1991)	2
-68	112	180	Fahlbusch (1994)	3
62	112	50	Catakli et al. (1973)	4
69	112	43	Novak (1955-1961)	5
-18	112	130	Farhoudi and Smith (1982, 1985)	6
2	112	110	Dargahi (2003)	7



شکل ۱۴- مقایسه نتایج تجربی عمق آب‌شستگی و روش فرهودی و اسمیت.

Figure 14. Comparison of experimental results of scouring depth and Farhoudi and Smith.



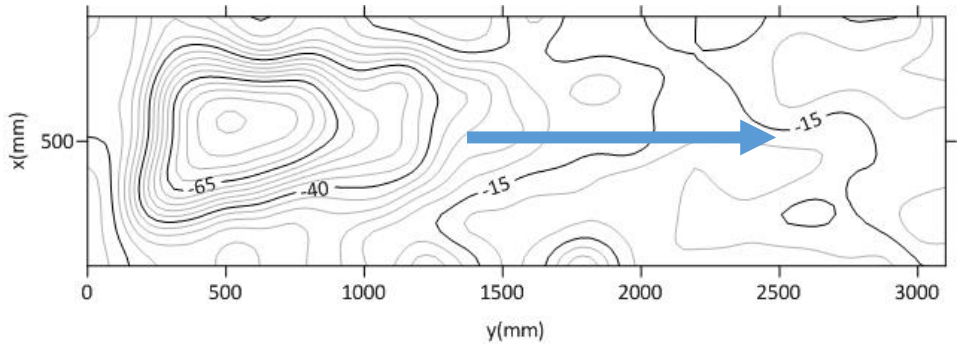
شکل ۱۵- مقایسه نتایج تجربی عمق آب‌شستگی و روش درگاهی.

Figure 15. Comparison of experimental results of scouring depth and Dargahi.

بررسی تأثیر صفحات مستغرق در کاهش آب‌شستگی: صفحات مستغرق موجب تغییر مسیر جریان می‌شوند. در این پژوهش سعی شده با استفاده میزان کاهش آبشستگی در آرایش‌های مختلف در هر یک از روش‌های صفحات مستغرق بررسی شود.

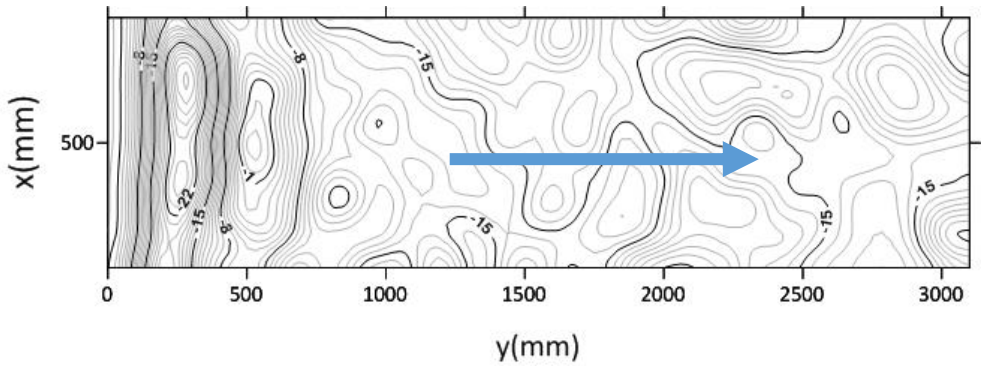
صفحات مستغرق با زاویه ۲۰ درجه: استفاده از صفحات مستغرق همگرا با زاویه ۲۰ درجه (شکل ۱۶) موجب هدایت آب به سمت مرکز صفحه شده و در نتیجه منجر به فرسایش زیاد بستر پایاب مخصوصاً در نقطه مرکزی خواهد شد. عمق آب شستگی در این روش ۲۶ درصد کاهش آب‌شستگی را نشان می‌دهد.

عرض آب‌شستگی و در نتیجه حجم ابعاد آب‌شستگی بیش‌تر از آزمایش مبنا می‌باشد. نصب صفحات در زاویه ۲۰ درجه به‌صورت زیگزاگ موجب آشفتگی بیش‌تر جریان و در نتیجه کاهش انرژی آب نسبت به روش قبلی شده و آب‌شستگی را کاهش می‌دهد. به طوری‌که عمق آب‌شستگی ۳۵ میلی‌متر، معادل ۸۳ درصد کاهش آب‌شستگی خواهد شد. شکل ۱۷ الگوی آب‌شستگی در حالت زیگزاگ را نشان می‌دهد. نتایج آزمایش‌ها با زاویه ۲۰ درجه در جدول ۳ آمده است.



شکل ۱۶- الگوی آب‌شستگی انجام شده در آزمایش با زاویه ۲۰ درجه.

Figure 16. Scour pattern in experiments of 20 degrees.



شکل ۱۷- الگوی آب‌شستگی صفحات مستغرق زیگزاگی.

Figure 17. Scour pattern in submerged vanes zigzag.

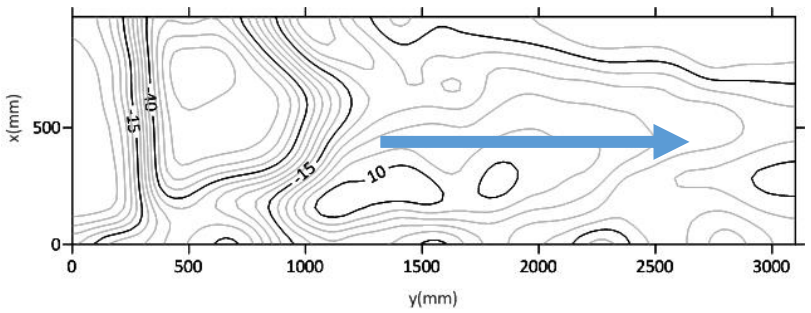
جدول ۳- آزمایش صفحات مستغرق با زاویه ۲۰ درجه.

Table 3. Experiments of submerged vanes with an angle of 20 degrees.

شرایط آزمایش Test conditions	ارتفاع آب (میلی‌متر) Water height (mm)	عمق آب‌شستگی (میلی‌متر) Scour depth (mm)	عمق آب‌شستگی در مدل اصلی (سانتی‌متر) Scouring depth in the main model (mm)	نسبت عمق آب‌شستگی به آزمایش مبنا (میلی‌متر) The ratio of scouring depth to the base test (mm)
صفحات مستغرق همگرا Convergent submerged vanes	50	-95	1900	0.73
صفحات مستغرق زیگزاگی Submerged vanes zigzag plates	50	-35	700	0.27

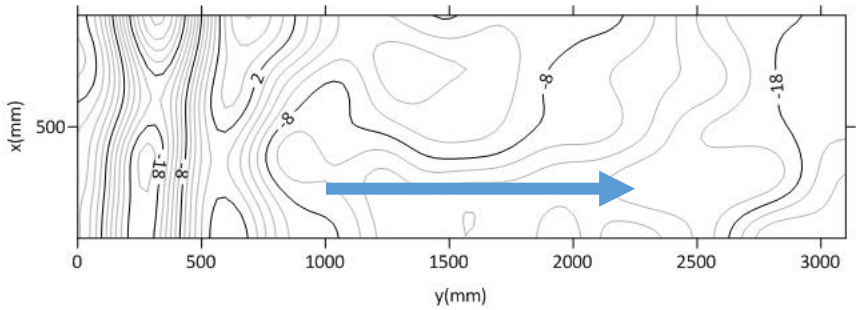
صفحات مستغرق با زاویه ۴۵ درجه: در صفحات ۴۵ درجه همگرا نسبت به صفحات ۲۰ درجه سطح برخورد بیش‌تر آب به صفحات و در نتیجه کاهش انرژی بیش‌تر آب باعث شده عمق و حجم آب‌شستگی کم‌تر شود. درصورتی‌که از صفحات مستغرق همگرا (۴۵ درجه) استفاده شود، میزان آب‌شستگی در پایاب ۵۵ میلی‌متر خواهد شد که نسبت به آزمایش مبنا ۵۸ درصد کاهش آبشستگی را نشان می‌دهد. البته همان‌طور که شکل ۱۸ نشان می‌دهد چاله آب‌شستگی تا انتهای کانال ادامه می‌یابد.

درصورتی‌که صفحات ۴۵ درجه به صورت واگرا قرار بگیرند مسیر جریان آب به سمت دیواره‌ها حرکت می‌کند. گرچه این مسأله باعث فرسایش کم‌تر بستر پایاب و کاهش ۷۵ درصدی آب‌شستگی می‌شود ولی در شرایط رودخانه اصلی موجب تخریب دیواره‌ها خواهد شد. هم‌چنین این مسأله باعث می‌شود آب‌شستگی به پایین‌تر از پایاب حوضچه آرامش کشیده شود. شکل ۱۹ الگوی آب‌شستگی در حالت ۴۵ درجه واگرا و جدول ۴ شرایط آزمایش صفحات مستغرق ۴۵ درجه در حالت واگرا و همگرا را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸- الگوی آب‌شستگی صفحات همگرا.

Figure 18. Scour pattern in converge plate.



شکل ۱۹- الگوی آب‌شستگی صفحات مستغرق ۴۵ درجه واگرا.

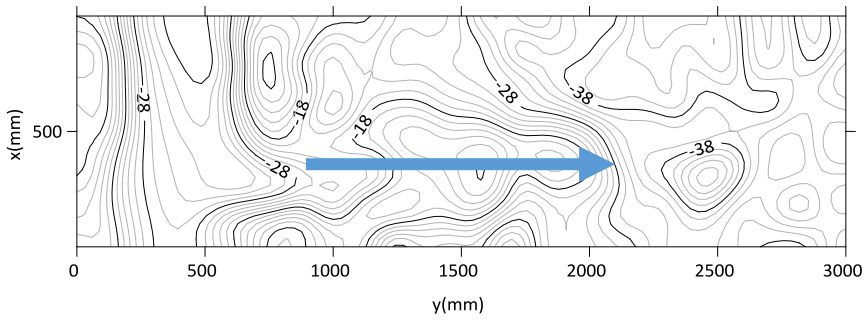
Figure 19. Scour pattern in 45 degree divergent submerged vanes.

جدول ۴- آزمایش صفحات مستغرق ۴۵ درجه.

Table 4. Experiments of submerged vanes with an angle of 20 degrees.

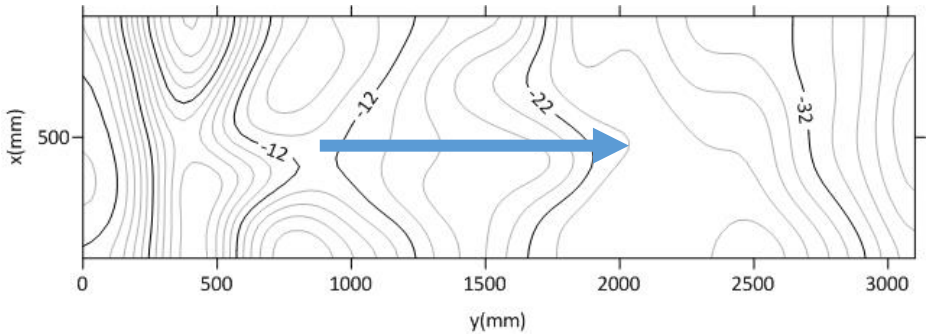
شرایط آزمایش Test conditions	ارتفاع آب (میلی‌متر) Water height (mm)	عمق آب‌شستگی (میلی‌متر) scour depth (mm)	عمق آب‌شستگی در مدل اصلی (سانتی‌متر) Scouring depth in the main model (mm)	نسبت عمق آب‌شستگی به آزمایش مبنا (میلی‌متر) The ratio of scouring depth to the base test (mm)
صفحات مستغرق همگرا Convergent submerged vanes (45 degrees)	38	-55	1100	0.27
صفحات مستغرق ۴۵ درجه واگرا Immersed Immersed plates diverge at 45	50	-25	500	0.19

صفحات مستغرق ترکیبی: اگر صفحات به صورت ترکیبی قرار گیرند برخورد آب به صفحات موجب تلفات انرژی می‌شود. آشفتگی ایجاد شده در حوضچه آرامش میزان آب‌شستگی را کاهش می‌دهد. در صورتی‌که جریان آب از روی سرریز به‌تنهایی عبور نماید، میزان آب‌شستگی ۴۰ میلی‌متر می‌شود که ۷۰ درصد کاهش آب‌شستگی را نشان می‌دهد. شکل ۲۰ آب‌شستگی در این حالت را نشان می‌دهد. درصورتی‌که آب از سرریز و کل لوله‌ها خارج شوند. جت جریان بالا و پایین به صفحات برخورد کرده و موجب تلفات انرژی می‌شود. میزان آب‌شستگی در این روش ۵۰ میلی‌متر، یعنی ۵۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد. شکل ۲۱ الگوی آب‌شستگی بستر در این حالت را نشان می‌دهد. درصورتی‌که آب از لوله بالاک سرریز عبور نماید. میزان آب‌شستگی ۶۰ میلی‌متر خواهد شد که ۵۰ درصد آب‌شستگی می‌باشد. جدول ۵ شرایط جریان درحالی‌که از صفحات مستغرق ترکیبی استفاده شود را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰- الگوی آب‌شستگی در صورتی که جریان آب از روی سرریز به‌تنهایی عبور نماید (روش صفحه ترکیبی).

Figure 20. Scour pattern in which water passes only over with the spilway (combined plate method).



شکل ۲۱- الگوی آب‌شستگی در شرایط عبور جریان آب از سرریز و کل لوله‌ها.

Figure 21. Scour pattern in which water is discharged from all pipes with the spilway.

جدول ۵- آزمایش در شرایط مختلف صفحات مستغرق ترکیبی.

Table 5. Experiments of the plates in the combined plate method.

نسبت عمق آب‌شستگی به آزمایش مبنا (میلی‌متر) The ratio of scouring depth to the base test (mm)	عمق آب‌شستگی در مدل اصلی (سانتی‌متر) Scouring depth in the main model (mm)	عمق آب‌شستگی (میلی‌متر) scour depth (mm)	ارتفاع آب (میلی‌متر) Water height (mm)	شرایط آزمایش Test conditions
0.21	800	-40	38	جریان از سرریز به‌تنهایی عبور می‌کند water only passes over the weir
0.45	1000	-50	50	جریان از سرریز و کل لوله‌ها عبور می‌کند Flow passes through all pipes and over the weir
0.5	1200	-60	70	جریان از سرریز و لوله‌های بالا عبور می‌کند The lower pipes closed and flow passess through the upper pipes and spilway

نتیجه‌گیری کلی

صفحات‌مستغرق موجب تغییر مسیر جریان می‌شوند. اگر این تغییر مسیر به درستی هدایت شود موجب کاهش آب‌شستگی خواهد شد. گرچه این روش‌ها موجب آب‌شستگی کم‌تری نسبت به آزمایش مبنا شده‌اند، اما درمجموع برای این‌که آب‌شستگی در پایین‌دست حوضچه آرامش به صفر نزدیک شود نیازمند آزمایش‌ها و تکنیک‌های جای‌گذاری صفحات

متفاوت بیش‌تری می‌باشد. بعضی از روش‌ها موجب آب‌شستگی بیش‌تر بستر و بعضی نیز آب‌شستگی کم‌تری نسبت به آزمایش مبنا داشته‌اند. درمجموع برای این‌که آب‌شستگی در پایین‌دست حوضچه آرامش به صفر نزدیک شود نیازمند آزمایش‌ها و تکنیک‌های بیش‌تری می‌باشد.

استفاده از صفحات به صورت ۲۰ درجه و ۴۵ درجه به صورت همگرا به علت حجم آب‌شستگی زیاد جهت کنترل آب‌شستگی پایین‌دست حوضچه آرامش توصیه نمی‌شود. هم‌چنین استفاده از صفحات ۴۵ درجه واگرا به علت آب‌شستگی دیواره کانال و یا رودخانه نیز توصیه نمی‌شود. بهترین نتیجه از جهت کاهش آب‌شستگی در آزمایش‌های انجام شده برای حالتی به وجود آمد که از صفحات به‌صورت زیگزاگ استفاده شود. استفاده از روش مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی کمک بسیار خوبی جهت شناسایی بهینه جاگذاری صفحات خواهد شد.

استفاده از صفحات مستغرق می‌تواند جایگزین خوبی برای بلوک‌های بتنی احداث شده در داخل حوضچه آرامش باشد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از آقایان اداره کل آبخیزداری گلستان که اطلاعات اولیه انجام این پژوهش را فراهم نموده‌اند تشکر می‌نمایند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های اولیه موردنیاز این پژوهش از اداره کل آبخیزداری گلستان و داده‌های بعدی از بازدید از سازه تول‌بنه و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی تهیه‌شده است. داده‌ها، با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل‌دسترسی است.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول و دوم: آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله، نویسنده سوم و چهارم: تحلیل و تفسیر نتایج، نگارش نهایی و بازبینی مقاله.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مالی برخوردار نبوده است.

منابع

1. Seyedian, S. M., Ghaznavi, S., Fathabadi, A., & Farasati, M. (2020). Evaluation of different weighting methods to predict scour depth on grade control structures. *Journal of Hydraulics*, 15 (1), 25-43.
2. Ghorbani, B., & Kells, J. A. (2008). Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier. *Journal of Hydraulic Engineering*. 46 (4), 123-134. [In Persian]
3. Barani, G. A., & Shahrokhi Sardo, M. (2013). Experimental investigation of submerged vanes' shape effect on river-bend stability. *Journal of Hydraulic Structures*, 1 (1), 37-43. [In Persian]
4. Johnson, P. A., Hey, R. D., Tessier, M., & Rosgen, D. L. (2001). Use of vanes for control of scour at vertical wall butment. *Journal of Hydraulic Engineering. ASCE*. 127 (9), 772-779.

5.Khademi, K. H., & Bajestan, M. (2014). Investigating the effect of the number, position and angle of the submerged vanes at the location of the bridge on scour depth. *Iranian Water Research Journal*, 8 (15), 153-145. [In Persian]
6.Rajaratnam, N., & Hurtig, K. (2000). Screen-Type Energy Dissipator for Hydraulic Structures. *J. of Hydraulic Eng*. 126 (4), 310-312.
7.Azizi, A., Ghorbani, B., Tabrizi, H., & Borujani, H. (2013). Research Note Evaluation of Submerged Vanes Effect on Hydraulic Jump Characteristics in Stilling Basins. *Journal of Hydraulics*, 8 (1), 73-81. [In Persian]
8.Odgaard, A. J., Wang, Y. (1991). Sediment management with Submerged Vanes, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 117 (3), 267-283.
9.Ouyang, H. T. (2009). Investigation on the dimensions and shape of a submerged vane for sediment management in alluvial channels. *J. Hydr. Engin.* 135 (3), 209-217.
10.Tan, S. K., Yu, G., Lim, S. Y., & Ong, M. C. (2005). Flow structure and sediment motion around submerged vanes in open channel. *J. waterway, port, coastal and ocean engineering*, 131 (3), 132-136.
11.Sruthi, T. K., Ranjith, K. B., & Chandra, V. (2017). Control of sediment entry into an intake canal by using submerged vanes. In: AIP Conference Proceedings, 1875:030007. 1-9. AIP Conference Publishing.p.
12.Ismaili Worki, M., & Farhoudi, J. (2010). Laboratory study of the effect of intake angle on the amount of sediment entering the catchment opening in diverting weirs. Shahid Chamran University, 26-28 Jan. 2010, Ahwaz. [In Persian]
13.Kristine, B. S. R., & Abt, M. (2001). Sampling Surface and subsurface particle - size Distributions in Wadable Gravel - and Cobble - Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics and Streambed Monitoring, USDA. pp. 14-104.
14.Anon. (2005). Standard publication: No. 349, *Publications of the Management and Planning Organization of the country*, Field Methods for Measurement of Rivers and Dam Reservoirs Sediment. p. 67. [In Persian]
15.Yalin, M. S. (1971). *Theory of Hydraulic Models*, New York, Mac Millan. pp. 159-161.
16.Schoklitsch, A. (1932). Kolkbildung unter uberfallstrahlen. Wasserwirtschaft, 343.
17.Bormann, N. E., & Julien, P. Y. (1991). Scour down stream of grade control structures. *J. Hydraulic. Eng.* 117 (5), 579-594.
18.Scurlock, S. M., Cristopher, L. T., & Steven, R. A. (2012). Equilibrium scour downstream of three-dimensional grade control structures. *J. Hydraul. Eng.* 138 (2), 167-176.
19.Fahlbusch, F. E. (1994). Scour in Rock Riverbeds Downstream of Large Dams. *J. Hydropower and Dams*, 1 (4), 30-32.
20.Catakli, O., et al. (1973). A study of scour at the end of stilling basin and use of horizontal beams as energy dissipators, Proc. 11th Int. Congress on large dams, Madrid, Q41 R2. pp. 23-37.
21.Novak, P. (1955). Study of stilling basins with special regard to their end sill. Proc. 6th IAHR Conference, the Hague, Paper C15.
22.Novak, P. (1961). Influence of bed load passage on scour and turbulence downstream of stilling basin, Proc. 19th IAHR Conference, Dubrovink, pp. 66-75.
23.Farhoudi, J., & Smith, K. V. H. (1982). Time scale for scour downstream of hydraulic jump. *Journal of Hydraulic Engineering*, 108, HY10, pp. 1147-1161.
24.Farhoudi, J., & Smith, K. (1985). Local scour profiles downstream of hydraulic jump. *Journal of Hydraulic Research*. 23 (4), 343-359.
25.Dargahi, B. (2003). Scour downstream of a spillway. *Journal of Hydraulic Research*. 41 (4), 417-426. [In Persian]