



دانشگاه گواران و منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هشتم، شماره دوم، ۱۴۰۰
۱۲۳-۱۴۰

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2021.19058.3452

مقاله کامل علمی - پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی تأثیر بازشدگی تک دریچه مایتر بر حجم و عمق آب‌شستگی بستر رودخانه (مطالعه موردی: دریچه کشتیرانی بهمن شیر)

بهزاد تجری^۱، مهدی مفتاح‌هلقی^{۲*}، محسن سلیمانی بابرصاد^۳ و امیراحمد دهقانی^۲

^۱ دانشجوی دکتری تخصصی سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳ استادیار مرکز تحقیقات علوم آب و محیط زیست، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶

چکیده

سابقه و هدف: دریچه کشتیرانی از نوع مایتر در مسیر رودخانه و شرایط عبور جریان از دریچه در حال حرکت (باز و بسته شدن دریچه) پیچیدگی خاصی دارد که بررسی تأثیر آن بر آب‌شستگی بستر پایین‌دست دریچه را ضروری می‌نماید. پژوهش حاضر بر روی دریچه مایتر (در حالت بازشدگی تک دریچه) انجام شده و به بررسی آزمایشگاهی تأثیر سرعت بازشدگی تک دریچه مایتر بر حجم و عمق آب‌شستگی بستر رودخانه (مطالعه موردی: دریچه کشتیرانی بهمن شیر) پرداخته است. تیموتی لاود (۲۰۱۲) با استفاده از مدل فیزیکی اقدام به بررسی وضعیت آب‌شستگی در بالادست سد شماره ۲۴ رودخانه می‌سی‌سی‌پی نمود. نتایج پژوهش نشان داد که حفره‌های متعددی تشکیل شده که عمیق‌ترین آن حدود ۱/۲۲ متر عمق دارد.

مواد و روش‌ها: امکانات و شرایط آزمایشگاهی و اصل تشابه‌سازی، اقدام به ساخت یک مدل فیزیکی با مقیاس ۱:۲۰ ($L_R=20$) شد. مدل فیزیکی دریچه مایتر در داخل یک فلوم مستطیلی به طول ۶ متر، عرض ۱/۳۰ متر و عمق ۰/۵ متر قرار داده شد. عمق رسوبات از محل دریچه تا انتها (به طول ۳ متر) به عمق ۲۰ سانتی‌متر بود و در بالادست دریچه مایتر هیچ‌گونه رسوباتی در نظر گرفته نشد. ذرات رسوبی از محل رودخانه بهمن شیر تأمین شد که قطر متوسط (D_{50}) آن‌ها توسط آزمایشگاه ژئوتکنیک و برابر ۰/۲۵ میلی‌متر ($D_{50}=0.25\text{ mm}$) تعیین گردید؛ جنس ذرات رسوبی از نوع ماسه بود. جریان به‌آرامی و با دبی کم وارد کانال شده و بار هیدرولیکی موردنظر در دو طرف دریچه (بالادست و پایین‌دست دریچه) تنظیم و کنترل می‌گردید و در نهایت جریان پس از عبور از دریچه و محدوده قفل آبی از طریق کانال پایین‌دست وارد مخزن پمپاژ شده و دوباره به چرخه بازمی‌گشت. دریچه مایتر با عبور نسبت‌های دبی مختلف و نیز سرعت‌های بازشدگی مختلف در شرایطی که یک دریچه آن باز شد مورد آزمایش قرار گرفت و پس از پایان آزمایش با استفاده از متر لیزری اقدام به قرائت داده‌های رقوم بستر فلوم (فرسایش و رسوب‌گذاری) گردید که مقادیر آن به صورت حجمی و ارتفاعی محاسبه شد.

* مسئول مکاتبه: meftahhalaghi@gmail.com

یافته‌ها: با توجه به نتایج حاصل از آنالیز ابعادی به روش باکینگهام، آزمایش‌های متعددی برای تعیین تأثیر پارامترهایی هم چون نسبت سرعت بازشدگی دریچه (نسبت سرعت بازشدگی مدل نسبت به پروتوتایپ) (۲، ۲/۴ و ۳) و نسبت دبی‌های مختلف جریان (نسبت دبی جریان به دبی حداکثر مدل) (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱) و نسبت اختلاف بار هیدرولیکی قبل و بعد از دریچه بر حجم و عمق آب‌شستگی در طول فلوام انجام گردید که نتایج پژوهش در قالب رسم نمودارهای حجم آب‌شستگی در مقابل نسبت دبی جریان و نسبت سرعت بازشدگی ارائه شد.

نتیجه‌گیری: نتایج بررسی تأثیر نسبت سرعت بازشدگی دریچه مایتر بر حجم و عمق آب‌شستگی نشان داد به‌طور کلی با افزایش سرعت بازشدگی دریچه حجم آب‌شستگی افزایش و عمق آن کاهش یافت که به دلیل تمرکز جریان به مدت‌زمان بیشتر در حالت سرعت کم‌تر بازشدگی بود و باعث فرسایش عمقی بیشتر نسبت به حالت باز نمودن دریچه با سرعت بیشتر شد. نتایج نشان داد با افزایش سرعت بازشدگی دریچه حجم فرسایش تا ۱۷/۳ درصد افزایش یافت هم‌چنین با افزایش سرعت بازشدگی دریچه عمق فرسایش تا ۲۳ درصد کاهش نشان داد. لازم به ذکر است با افزایش دبی هم عمق و هم حجم چاله فرسایش افزایش یافت عمق فرسایش تا ۱۸ درصد و حجم چاله تا ۱۷ درصد افزایش نشان داد. در خصوص بار هیدرولیکی نیز نتایج نشان داد با افزایش بار هیدرولیکی عمق فرسایش تا ۴۲ درصد افزایش و حجم آب‌شستگی نیز تا ۸۵ درصد افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: حجم آب‌شستگی، دریچه مایتر، نسبت دبی جریان، نسبت سرعت بازشدگی دریچه

مقدمه

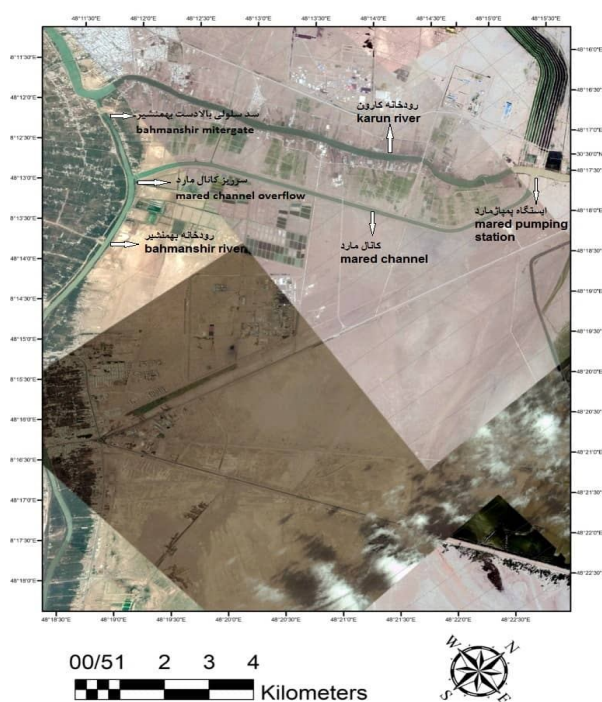
منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر به دلیل دوشاخه شدن کارون در سهراهی حفار و اتصال آن به بهمن‌شیر و اروندرود و نهایتاً خلیج فارس، موجب شده تا شرایط هیدرولیکی نسبتاً پیچیده‌ای در آن‌جا حاکم باشد؛ از این رو لازم است رفتار هیدرودینامیکی رودخانه جزر و مدی بهمن‌شیر به‌درستی شناخته شود. با توجه به تأثیر جزر و مد دریا بر رودخانه‌های استان خوزستان (کارون، اروندرود و بهمن‌شیر)، از نظر شوری، کیفیت آب شرب، کشاورزی و نیز صنعت کشتیرانی، لازم است تا گزینه ساخت دریچه‌های کشتیرانی از نوع مایتر جهت جلوگیری از اختلاط آب شور و شیرین ضمن تداوم کشتیرانی در منطقه، مورد بررسی قرار گیرد (۱۱). در آبراهه‌هایی که از دو طرف (بالادست و پایین‌دست) تحت تأثیر جزر و مد می‌باشند موجب ایجاد شرایط هیدرولیکی پیچیده‌ای در

رودخانه‌ها می‌شود. این جریان به‌علت اختلاف فاز در امتداد رودخانه، از طریق بار هیدرولیکی ایجاد جزر و مد می‌نماید. جهت کاهش تأثیر جزر و مد، کاهش اثر شوری بر رودخانه بهمن‌شیر، امکان آبیگری مطمئن از این رودخانه و حفظ شرایط کشتیرانی، اقدام به ساخت یک سد سلولی و یک دریچه کشتیرانی در آن محل گردید. با احداث این سد سلولی و هم‌چنین کانال مارد، آبیگری رودخانه بهمن‌شیر از طریق کانال مارد با دبی حداکثر ۱۲۰ مترمکعب بر ثانیه صورت می‌گیرد که با توجه به شرایط هیدرولیکی موجود در زمان بسته بودن دریچه‌ها، تراز سطح آب در رودخانه بهمن‌شیر اغلب بالاتر از کارون خواهد بود، شکل ۱ پلان عمومی موقعیت سد سلولی نسبت به رودخانه بهمن‌شیر و کارون را نشان می‌دهد. از این رو این امر موجب ایجاد اختلاف بار هیدرولیکی در دو طرف می‌گردد. به‌نحوی که از سمت رودخانه بهمن‌شیر تراز

پرداخته شود. مصالح بستر رودخانه بهمن شیر و دیواره‌های آن با توجه به این که محل وقوع این رودخانه در منطقه جلگه‌ای منتهی به خلیج فارس می‌باشد کاملاً ریزدانه بوده و ترکیبی از سیلت و لای و مقدار کمی رس است که به شدت فرسایش پذیر می‌باشند (۳).

هدف از انجام این پژوهش بررسی عمق و حجم چاله فرسایشی بعد از دریچه مایتر است که در حالت باز شدن تک دریچه اتفاق می‌افتد که به این منظور آزمایش‌هایی با سرعت‌های مختلف باز شدن دریچه در اختلاف بارهای هیدرولیکی مختلف در دبی‌های متفاوت انجام شد که در این مقاله به طور مشروح ارائه می‌شود.

آب پشت دریچه بالاتر از سمت دیگر آن است و هرگز عکس این موضوع رخ نخواهد داد (سطح آب در سمت کارون هرگز بالاتر از سطح آب در سمت بهمن شیر نخواهد بود). البته در زمان مد دریا به دلیل بالا آمدن سطح آب رودخانه کارون این اختلاف ارتفاع کاهش خواهد یافت. اختلاف ارتفاع در دو طرف دریچه حداکثر $1/9$ متر و حداقل $0/2$ متر خواهد بود (۳). دریچه‌های کشتیرانی از نوع مایتر در مسیر رودخانه و شرایط عبور جریان از دریچه در حال حرکت (باز و بسته شدن دریچه) پیچیدگی خاصی دارد. که بررسی تأثیر آن بر آب‌شستگی بستر را ضروری می‌نماید؛ از این رو لازم است تا با استفاده از مدل‌سازی فیزیکی به بررسی جنبه‌های مجهول شرایط جریان و آب‌شستگی در حالات مختلف



شکل ۱- پلان عمومی موقعیت سد سلولی نسبت به رودخانه بهمن شیر و کارون.

Figure 1. General plan of navigation lock position to Bahmanshir and Karun river.

حمیدی فر حسین و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی عمق و ابعاد چاله آب‌شستگی پایین دست کف بندهای بتنی پرداختند. به منظور پیشگیری از آب‌شستگی گسترده ناشی از جریان پرسرعت خروجی در پایین دست‌سازه‌های هیدرولیکی مانند دریچه‌های کشویی، معمولاً از یک کف بند صلب استفاده می‌شود. اگرچه وجود کف بند تا حد زیادی منجر به حفاظت بستر می‌گردد، اما به علت مستهلک نشدن کامل انرژی مازاد جریان، در انتهای کف بند آب‌شستگی موضعی اتفاق می‌افتد که شکل و ابعاد حفره آب‌شستگی تشکیل شده بایستی در طراحی‌ها پیش‌بینی گردد. آن‌ها با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، روابط و نمودارهای بدون بعد جدیدی برای محاسبه طول‌های مشخصه حفره آب‌شستگی مانند حداکثر عمق آب‌شستگی و محل وقوع آن، مقدار آب‌شستگی بستر در مجاورت کف بند، حداکثر گسترش حفره، فاصله افقی انتهای کف بند تا تاج تلماسه و ارتفاع تلماسه ارائه و با مطالعات پیشین مقایسه کردند (۶).

با توجه به این‌که این پژوهش بر روی آب‌شستگی ناشی از نحوه باز شدن دریچه مایتر سد سلولی بهمن شیر انجام شده است تاکنون پژوهشی در این خصوص انجام نشده است. این پژوهش به بررسی اثر سرعت باز شدن دریچه مایتر و همچنین اختلاف ارتفاع آب قبل و بعد از دریچه بر عمق و حجم آب‌شستگی بستر رودخانه پرداخته است که تاکنون در این خصوص مطالعاتی انجام نشده است. در خصوص دریچه‌های مایتر نیز تاکنون مطالعات اندکی بر روی آب‌شستگی ناشی از باز و بسته شدن دریچه در شرایط هیدرولیکی مختلف صورت پذیرفته است.

مواد و روش‌ها

هدف از پژوهش حاضر بررسی آزمایشگاهی حجم و عمق آب‌شستگی دریچه کشتیرانی سد سلولی

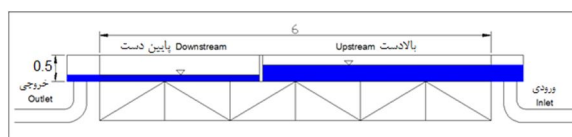
جان چن و همکاران (۲۰۱۰) به مقایسه و تجزیه و تحلیل چندین روش در جهت تعیین حداکثر حجم آب‌شستگی بستر رودخانه‌های جزر و مدی پرداختند. نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها نشان داد خطای سرعت کم‌تر از $0.3/0$ متر بر ثانیه، خطای سطح جزر و مد کم‌تر از ۵ سانتی‌متر و از سوی دیگر خطای حجم آب‌شستگی بسیار ناچیز بود که در مجموع تطابق بسیار خوبی با وضع موجود رودخانه داشت. در روش عددی نیز شرایط قابل قبولی حاکم بود؛ اما روش‌های فرموله کردن و تحلیل ساختار زمین‌شناسی دارای نتایج چندان مناسبی نبوده از این‌رو استفاده از این دو روش در تعیین حداکثر حجم آب‌شستگی بستر رودخانه‌های جزر و مدی در شرایط سیلابی توصیه نشده است (۱).

توماس جامبوسی (۲۰۱۰) با استفاده از مدل عددی به تجزیه و تحلیل حرکت ذرات رسوب در سد کشتی گذر شماره ۲۲ رودخانه می‌سی‌سی‌پی پرداخت. دریچه کشتی گذر این سد از نوع lock gate بوده و نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های نشان داد که آب‌شستگی عمدتاً در نزدیکی سازه‌های تازه احداث شده مانند دیواره‌های حفاظتی و دایک‌های پره‌ای رخ خواهد داد و ته‌نشینی رسوبات در منطقه‌ای که قابلیت کشتیرانی دارد اتفاق خواهد افتاد و این مکان در حدود ۴۲۷ متر در پایین دست سد قرار دارد، از این‌رو نیاز به لایروبی دائمی دارد (۱۲).

اسپا و سببلا (۲۰۱۴) به بررسی آزمایشگاهی رژیم آب‌شستگی پایین دست یک کف بند به واسطه عبور جریان یک جت مستغرق از بستر فرسایش‌پذیر پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد عمق آب پایین دست در الگوی دوبعدی آب‌شستگی بسیار تعیین‌کننده خواهد بود. به نحوی که برای جریان نسبتاً کم پایین دست، مسیر اصلی جت به سمت سطح آزاد بوده و یک پروفیل آب‌شستگی کم عمق اما طویل رخ می‌دهد (۴).

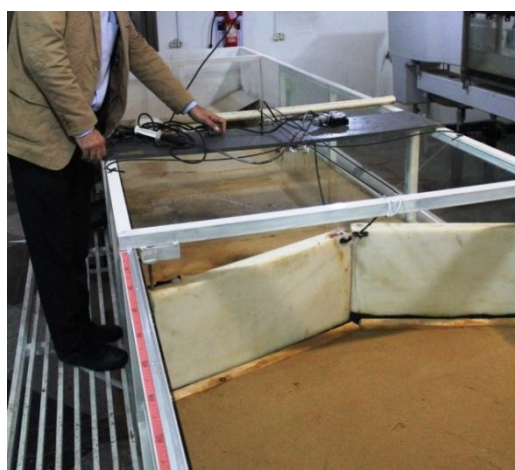
مخزن تأمین آب فلوم، دبی سنج دیجیتالی به منظور اندازه‌گیری دبی جریان با دقت ۰/۲ لیتر در ثانیه، آرام‌کننده جریان ورودی به فلوم، الکتروپمپ با دبی حداکثر ۸۰ لیتر در ثانیه و مخزن زمینی به حجم ۵ مترمکعب از تجهیزات مورد استفاده در این فلوم بود. کف فلوم به صورت بستر ثابت و افقی (با شیب صفر) در نظر گرفته شد؛ شایان ذکر است عمق رسوبات از محل نصب دریچه (در قسمت میانی فلوم) تا انتهای فلوم (به طول تقریبی ۳ متر) به عمق ۲۰ سانتی‌متر بود و در بالادست دریچه مایتر هیچ‌گونه رسوباتی در نظر گرفته نشد. لازم به ذکر است آزمایش‌ها در شرایط آب زلال انجام شد. شکل ۲ طرح کلی سیستم تغذیه و گردش آب در فلوم آزمایشگاهی دریچه و در شکل ۳ تصویر مدل و تجهیزات دریچه را در پژوهش حاضر نشان می‌دهد.

بهمین شیر در حالت‌های مختلف بازشدگی تک دریچه و بارهای هیدرولیکی متفاوت می‌باشد. موقعیت سد سلولی نسبت به رودخانه بهمین شیر و کارون ($11^{\circ} 48' 12''$ ، $43^{\circ} 48' 11''$) را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که مبنای مدل‌سازی فیزیکی در پژوهش حاضر، دریچه کشتیرانی بهمین شیر^۱ بوده، از این رو بر اساس امکانات و شرایط آزمایشگاهی مورد نیاز، اقدام به ساخت یک مدل فیزیکی با مقیاس ۲۰ ($LR=20$) شد. آزمایش‌های پژوهش حاضر بر روی یک مدل آزمایشگاهی و در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده صنعت آب و برق خوزستان انجام گرفت. در این پژوهش مدل فیزیکی دریچه مایتر، در داخل یک فلوم مستطیلی به طول ۶ متر، عرض ۱/۳۰ متر و عمق ۰/۵ متر ساخته شد. دیواره‌های فلوم شفاف و از جنس شیشه بوده و در نتیجه پروفیل سطح آب و شرایط جریان و رسوب قابل مشاهده بود.



شکل ۲- طرح فلوم آزمایشگاهی در تحقیق حاضر (متر).

Figure 2. The Plan of laboratory flume in the present study (m).



شکل ۳- تصویر مدل و تجهیزات دریچه.

Figure 3. Physical modelling & the Gate equipment.

شد تقریباً در زمان یک ساعت عمق و حجم چاله فرسایشی به یک حالت تعادل رسیده و پس از آن تغییر محسوسی در ابعاد چاله فرسایشی ایجاد نمی‌شد. از این رو زمان به‌عنوان زمان آزمایش در نظر گرفته شد. دریاچه مایتر مورد استفاده در این پژوهش از جنس تفلون ساخته شد؛ پس از پایان آزمایش و خاموش نمودن پمپ، با استفاده از متر لیزری اقدام به قرائت داده‌های رقوم بستر فلوم (فرسایش و رسوب‌گذاری) گردید که مقادیر آن به‌صورت حجمی و ارتفاعی محاسبه شد. لازم به ذکر است هر آزمایش سه بار تکرار شد و میانگین نتایج به‌دست آمده از برازش دو آزمایشی که مقادیر نزدیک به هم داشتند مدنظر قرار گرفته شد ضمن آن‌که نتایج این آزمایش‌های در قالب نمودارهایی که حجم و عمق آب‌شستگی را در مقابل نسبت سرعت بازشدگی دریاچه و نسبت دبی جریان نشان می‌داد ارائه شد.

توصیف دقیق جریان سه‌بعدی امری دشوار است. در یک رابطه ریاضی باید معادلات انرژی، مومنوم و پیوستگی در کنار پارامترهایی مانند هندسه دریاچه، شرایط هیدرولیکی جریان (تداخل خطوط جریان غیرموازی، وجود و یا عدم وجود جریان چرخشی) و خصوصیات سیال (اثرات کشش سطحی و اثرات لزجت) باید لحاظ گردد. در همین راستا متغیرهای مؤثر بر میزان فرسایش و رسوب‌گذاری ناشی از میزان بازشدگی دریاچه مایتر مشخص شده است (رابطه ۱).

ذرات رسوبی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت از محل دریاچه اصلی بر روی رودخانه بهمن‌شیر تهیه شد. قطر متوسط (D_{50}) رسوبات توسط آزمایشگاه ژئوتکنیک برابر $0/25$ میلی‌متر ($D_{50}=0/25 \text{ mm}$) تعیین گردید؛ جنس ذرات رسوبی از نوع سیلت بود.

جهت سهولت در تنظیم تراز آب پایین‌دست در زمان مدل‌سازی جذر و مد یک استاپ لاگ^۱ در پایین‌دست مدل نصب شد. در راستای روند انجام آزمایش‌های باید بیان داشت جریان آب ابتدا توسط پمپ از مخزن زمینی و از طریق لوله به سمت ابتدای فلوم حرکت کرده و در طول مسیر نیز توسط شیر فلکه و دبی‌سنج دیجیتال حجم و میزان جریان کنترل می‌شد. جریان به‌آرامی و با دبی کم وارد کانال شده و دبی مدنظر تنظیم شد و به‌آرامی بار هیدرولیکی موردنظر در دو طرف دریاچه (بالادست و پایین‌دست دریاچه) تنظیم و کنترل می‌گردید و در نهایت جریان آب پس از عبور از دریاچه و محدوده قفل آبی از طریق کانال پایین‌دست وارد مخزن پمپاژ شده و دوباره به چرخه بازمی‌گشت. دریاچه مایتر با عبور نسبت‌های دبی مختلف و نیز سرعت‌های بازشدگی مختلف در شرایطی که یک دریاچه آن باز شد مورد آزمایش قرار گرفت. لازم به ذکر است که پس از باز کردن دریاچه به مدت یک ساعت جریان در فلوم برقرار بود. با توجه به آزمایش‌های اولیه و کنترل عمق و حجم آب‌شستگی نسبت به زمان، مشخص

$$f(Q, V_f, H_0, g, \mu, \nu, \rho, \sigma, \rho_s, D_{50}, S, B, n, \alpha, H, Bg) = 0 \quad (1)$$

(بار هیدرولیکی)، g شتاب ثقل، σ کشش سطحی، μ ویسکوزیته دینامیکی، ν ویسکوزیته سینماتیکی، ρ چگالی سیال، ρ_s چگالی رسوبات، D_{50} قطر متوسط رسوبات، S شیب کانال، B عرض کانال، n زبری

که در آن، Q دبی جریان در کانال، t مدت زمان باز شدن دریاچه (tm در مدل و tp در پروتوتایپ)، V_f سرعت جریان در کانال، H_0 عمق جریان در کانال

1- Stop log

V_m سرعت بازشدگی دریچه در مدل آزمایشگاهی و Q_{max} حداکثر دبی جریان می‌باشد. با استفاده از تئوری π باکینگهام پارامترهای بدون بعد تعیین شدند که به صورت رابطه ۲ ارائه شده است.

$$\frac{V_s}{V_t} \& \frac{d}{B_g} = f\left(\frac{\mu B_g}{\rho Q} \cdot \frac{\sigma}{\rho y} \cdot \frac{g B_g^5}{Q^2} \cdot \frac{H_o}{B_g} \cdot \frac{V B_g^2}{Q} \cdot \frac{\rho_s}{\rho} \cdot \frac{v B_g}{Q}, \frac{V_f H_o}{v} \cdot \frac{D_{50}}{B_g} \cdot S\right) \quad (2)$$

$$\frac{tm}{tp} \cdot n \cdot \alpha \cdot \frac{B}{B_g} \cdot \frac{V_m}{V_p} \cdot \frac{H}{B_g} \cdot \frac{H_o}{B_g} \cdot \frac{L}{B_g} \cdot Q/Q_{max}$$

آزمایش به صورت رابطه ۳ ارائه شدند.

$$\frac{V_s}{V_t} \& \frac{d}{B_g} = f\left(\frac{Q}{Q_{max}} \cdot \frac{V_m}{V_p} \cdot \frac{H_o}{B_g}, \frac{tm}{tp}\right) \quad (3)$$

پارامترهایی هم چون نسبت سرعت بازشدگی دریچه (نسبت سرعت بازشدگی مدل نسبت به پروتوتایپ با توجه به طول دریچه اصلی که ۱۳ متر می‌باشد و زمان بازشدگی دریچه که حدود ۱۲ دقیقه طول می‌کشد از این رو سرعت دریچه اصلی ۲/۸ سانتی‌متر بر ثانیه می‌باشد و با توجه به سرعت بازشدگی مدل در سه حالت ۵/۶، ۶/۸، و ۸/۵ سانتی‌متر بر ثانیه نسبت سرعت مدل به اصلی به ترتیب ۲، ۲/۴ و ۳ می‌باشد) و نسبت دبی‌های مختلف جریان (نسبت دبی جریان به دبی حداکثر مدل) (مقدار دبی ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ لیتر بر ثانیه با نسبت دبی به ترتیب ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱) و نسبت اختلاف بار هیدرولیکی قبل و بعد از دریچه بر حجم و عمق آب‌شستگی در طول فلوم انجام گردید که نتایج پژوهش در قالب رسم نمودارهای حجم و عمق آب‌شستگی در مقابل نسبت دبی جریان و نسبت سرعت بازشدگی ارائه شد.

کانال، α زاویه بازشدگی دریچه، H ارتفاع دریچه، L طول کانال، B_g عرض دریچه، V_s حجم آب‌شستگی، V_t حجم کل رسوبات، d عمق آب‌شستگی، d_s عمق رسوبات، V_p سرعت بازشدگی دریچه در مدل اصلی،

پس از انجام آنالیز ابعادی و حذف پارامترهای بی‌بعد ثابت، در نهایت پارامترهای بی‌بعد متغیر مورد

که در آن، $\frac{V_s}{V_t}$ معرف حجم آب‌شستگی، $\frac{d}{B_g}$ معرف عمق فرسایش، $\frac{V_m}{V_p}$ معرف نسبت سرعت بازشدگی دریچه در مدل آزمایشگاهی به مدل اصلی (با توجه به این که سرعت گشودگی دریچه تابع مدت‌زمان بازشدگی دریچه می‌باشد بنابراین بجای پارامتر نسبت سرعت بازشدگی از پارامتر $\frac{tm}{tp}$ نیز می‌توان استفاده نمود و تغییری در روند نمودارها حاصل نمی‌شود)، $\frac{H_o}{B_g}$ معرف نسبت بار هیدرولیکی و Q/Q_{max} معرف نسبت دبی جریان می‌باشد. جهت انجام آزمایش‌ها، طرح چگونگی ارتباط بین متغیرهای ذکر شده در جدول ۱ آورده شده است (لازم به ذکر است مقادیر نسبت زمان بازشدگی ۰/۱۷، ۰/۲۱ و ۰/۲۵ به ترتیب معادل مقادیر نسبت سرعت ۳، ۲/۴ و ۲ است).

با توجه به نتایج حاصل از آنالیز ابعادی به روش باکینگهام، آزمایش‌های متعددی برای تعیین تأثیر

جدول ۱- طرح انجام آزمایش‌های بررسی تأثیر بازشدگی دریچه بر حجم آب‌شستگی.

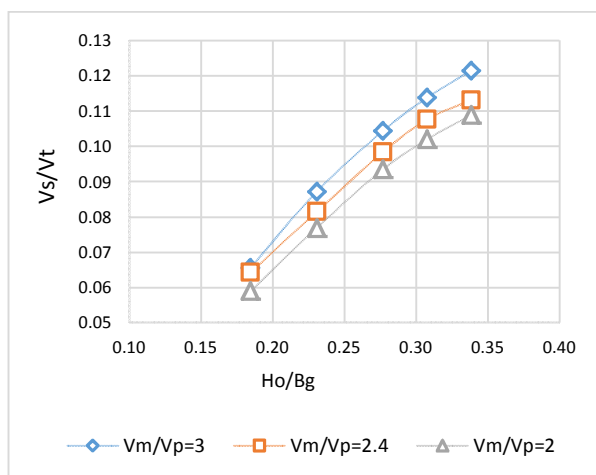
Table 1. Experimental tests plan for investigation of mitergate opening effect on the scouring volume.

حالت بازشدگی دریچه Valve opening mode	Q/Q_{max} (l/s)	$\frac{H_0}{B_g}$	$\frac{V_m}{V_p}$	$\frac{t_m}{t_p}$	تعداد آزمایش‌ها Number of tests
تک دریچه (single gate)	1-0.75-0.5	0.18-0.23-0.27-0.3-0.34	3-2.4-2	0.017-0.021-0.025	45

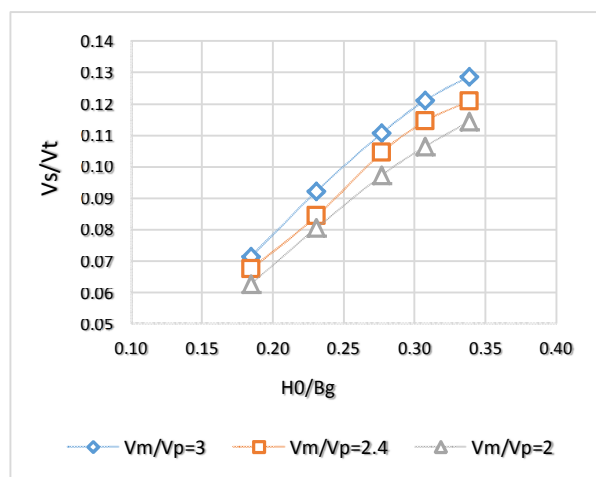
$V_m/V_p=3$ حجم چاله فرسایش در نسبت بار هیدرولیکی $\frac{H_0}{B_g}$ از ۰/۱۸ تا ۰/۳۴ افزایش یافت. به طوری در شرایط $Q/Q_{max}=0.5$ حجم آب‌شستگی با افزایش نسبت سرعت بازشدگی از $V_m/V_p=2$ تا $V_m/V_p=3$ بین ۱۱/۳ تا ۱۳/۴ درصد و در $Q/Q_{max}=0.75$ بین ۱۲/۵ تا ۱۴/۵ درصد و در نسبت $Q/Q_{max}=1$ بین ۱۴/۲ تا ۱۷/۲ درصد افزایش نشان داد. هم‌چنین مطابق این نمودار با افزایش نسبت بار هیدرولیکی در تمامی سرعت‌های گشودگی دریچه و دبی‌ها، ابعاد چاله فرسایشی بین ۷۳ تا ۸۵ درصد افزایش یافت. به طوری که بیش‌ترین درصد افزایش مربوط به بیش‌ترین سرعت گشودگی و کم‌ترین درصد افزایش مربوط به کم‌ترین سرعت گشودگی دریچه بود.

نتایج و بحث

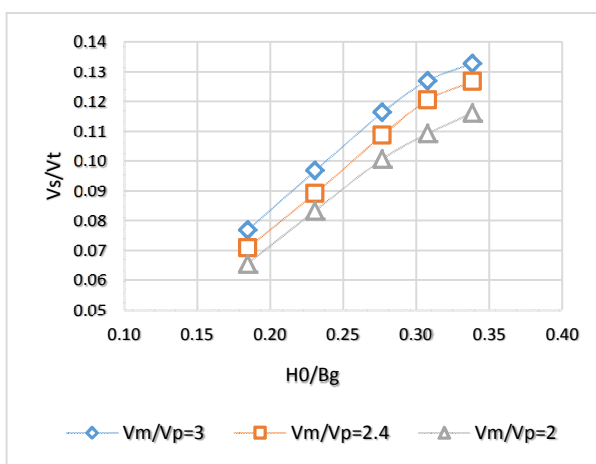
پژوهش حاضر به بررسی تأثیر بازشدگی دریچه مایتر بر حجم و عمق آب‌شستگی پرداخته است. در همین راستا نتایج حاصل از پژوهش در قالب نمودارهایی که میزان تغییرات حجم و عمق آب‌شستگی را نشان می‌دهد ارائه شده است. تأثیر نسبت سرعت بازشدگی بر حجم آب‌شستگی در شکل (۴-الف، ب، ج) نشان داده شده است که با افزایش بار هیدرولیکی، حجم آب‌شستگی افزایش یافته است. از سوی دیگر می‌توان بیان داشت که با افزایش نسبت سرعت بازشدگی دریچه به‌ازای تمامی نسبت‌های دبی، میزان حجم آب‌شستگی روند افزایشی داشته است. در شکل ۴، تغییرات نسبت حجم آب‌شستگی $\frac{V_s}{V_t}$ به‌طور متوسط از ۰/۰۵۹ تا ۰/۱۳۳ متغیر است. مطابق نمودار با افزایش نسبت سرعت گشودگی دریچه از $V_m/V_p=2$ تا



الف) $Q/Q_{max}=0.5$



ب) $Q/Q_{max}=0.75$



ج) $Q/Q_{max}=1$

شکل ۴- تغییرات (V_s/V_t) نسبت به (H_0/B_g) در نسبت سرعت بازشدگی دریاچه برای نسبت‌های دبی مختلف.

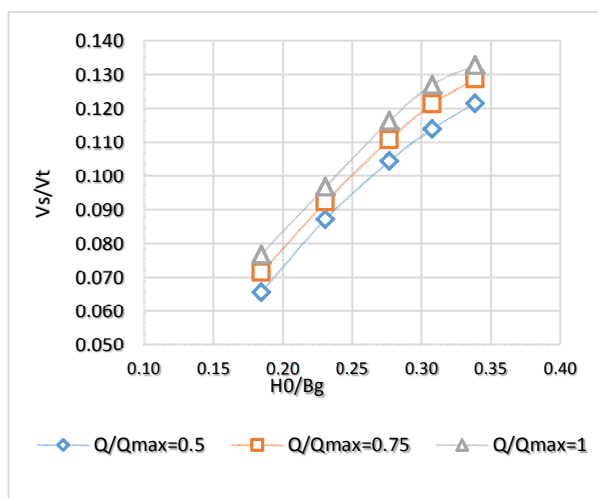
Figure 4. Values (V_s/V_t) versus (H_0/B_g) for V_m/V_p variable.

می‌دهد. در این شکل همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت سرعت بازشدگی دریچه، ماکزیمم عمق فرسایش در طول کانال کاهش یافته است. با توجه به این‌که در سرعت‌های کم بازشدگی دریچه، تمرکز جریان در بیش‌ترین بار هیدرولیکی مدت‌زمان بیش‌تری جریان دارد از این‌رو عمق فرسایش بیش‌تری را نیز ایجاد کرده است در صورتی‌که با افزایش سرعت بازشدگی دریچه تمرکز جریان در یک نقطه مدت‌زمان کم‌تری جریان دارد.

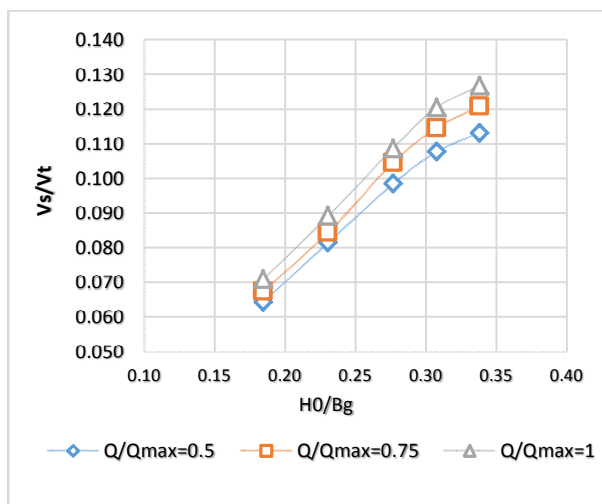
با توجه به شکل ۶-الف مشاهده می‌شود با افزایش سرعت باز شدن دریچه، عمق آب‌شستگی در بیش‌ترین نقطه در حالت $Q/Q_{max}=0/5$ حدود ۲۳ درصد و در دبی $Q/Q_{max}=0/75$ حدود ۱۳ درصد و در دبی $Q/Q_{max}=1/0$ نیز حدود ۷ درصد کاهش یافت. هم‌چنین نتایج نشان داد با افزایش دبی مقدار عمق فرسایش نیز افزایش یافت به‌طوری‌که مقدار افزایش عمق آب‌شستگی در نسبت دبی $Q/Q_{max}=1/0$ نسبت به $Q/Q_{max}=0/5$ حدود ۱۸ درصد بیش‌تر بود.

تأثیر نسبت‌های دبی جریان بر حجم آب‌شستگی شکل (۵-الف، ب، ج) نشان داده شده است که با افزایش نسبت دبی جریان به ازای نسبت سرعت بازشدگی دریچه، میزان حجم آب‌شستگی افزایش می‌یابد. مطابق نمودارهای شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش نسبت دبی حجم چاله فرسایش در $Vm/Vp=3$ حدود ۱۷ درصد در نسبت بار هیدرولیکی $0/18$ و $9/2$ درصد در نسبت بار هیدرولیکی $0/34$ افزایش نشان داد. هم‌چنین در نسبت $Vm/Vp=2/4$ افزایش حجم چاله فرسایشی در نسبت‌های بار هیدرولیکی مختلف از $9/4$ تا $12/0$ درصد متفاوت بود. هم‌چنین در نسبت $Vm/Vp=2$ نیز افزایش حجم چاله فرسایشی در نسبت‌های بار هیدرولیکی مختلف از $6/7$ تا $11/1$ درصد بود.

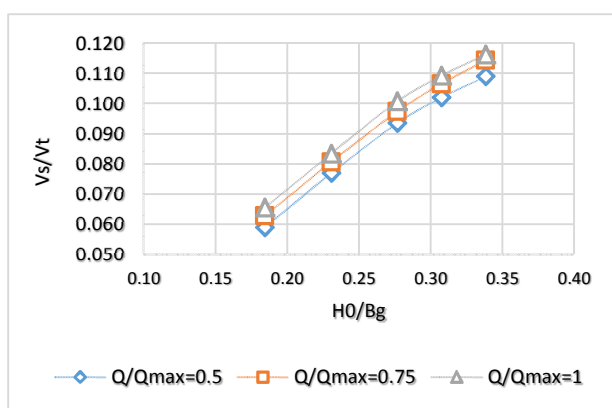
تأثیر نسبت سرعت بازشدگی بر عمق آب‌شستگی شکل ۶ آورده شده است که پروفیل طولی و حداکثر عمق فرسایش و رسوب‌گذاری در طول کانال (در جهت جریان) را با توجه به حالت بازشدگی تک دریچه در نسبت بار هیدرولیکی $0/34$ را نشان



$V_m/V_p=3$ (الف)



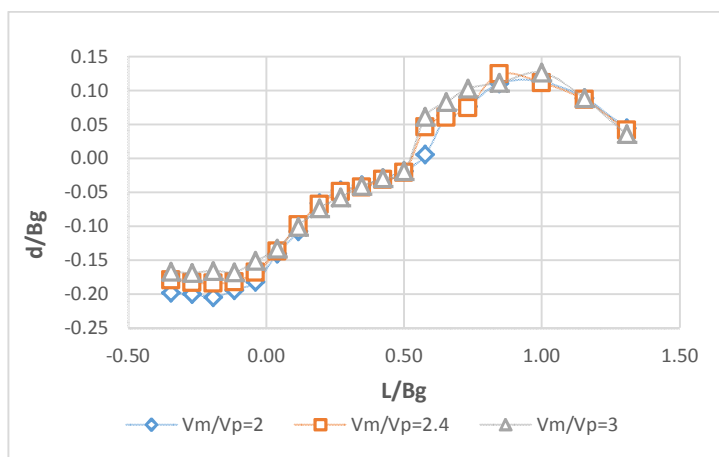
$V_m/V_p=2.4$ (ب)



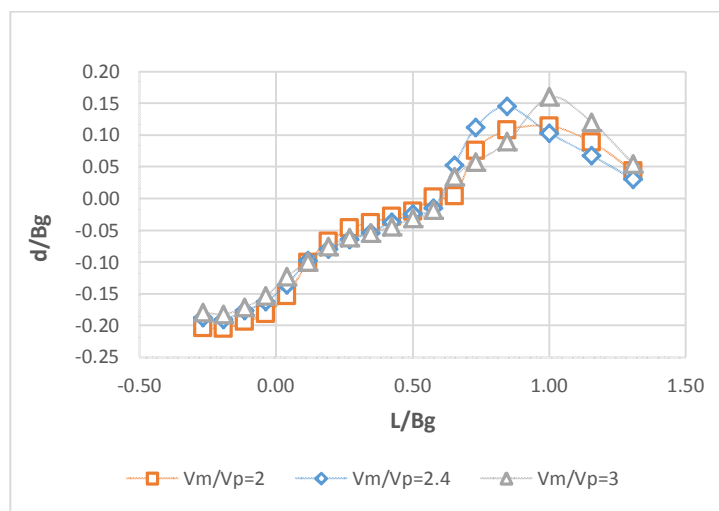
$V_m/V_p=2$ (ج)

شکل ۵- تغییرات نسبت به (H_0/B_g) نسبت به (V_s/V_t) در مقایسه با نسبت دبی جریان برای نسبت‌های سرعت بازشدگی درجه.

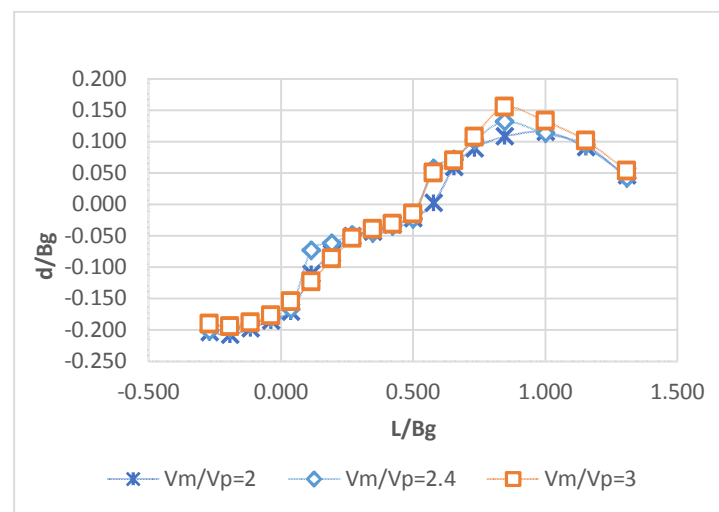
Figure 5. Values (H_0 / B_g) versus (V_s / V_t) for Q / Q_{max} variable.



الف) $Q/Q_{max}=0.5$



ب) $Q/Q_{max}=0.75$



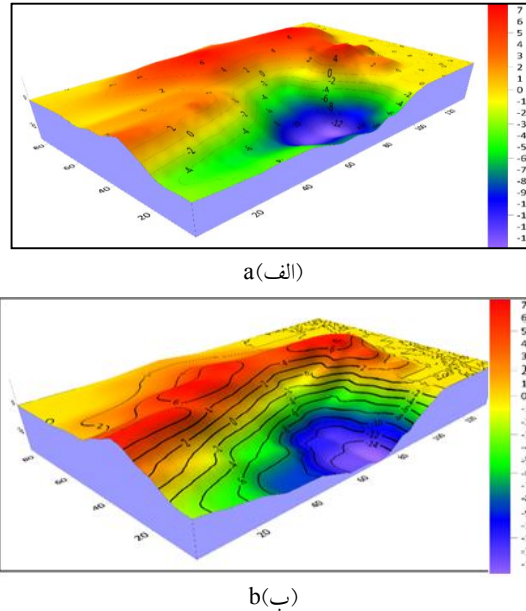
ج) $Q/Q_{max}=1$

شکل ۶- میزان حداکثر عمق فرسایش و رسوب‌گذاری در طول کانال بر اثر بازشدگی درجه (حالت تک درجه) برای نسبت‌های دبی مختلف.

Figure 6. Values (L / B_g) versus (d / B) for V_m / V_p variable.

دبی مختلف با استفاده از نرم افزار سورفر نشان می دهد (واحد محورها و راهنما برحسب سانتی متر می باشد).

شکل ۷ نمای سه بعدی میزان حجم آب شستگی بستر را به ازای نسبت های سرعت بازشدگی و نسبت های



شکل ۷- سطح تأثیر حجم آب شستگی بستر برای الف)نسبت سرعت بازشدگی ۳ و نسبت دبی ۱، ب)نسبت سرعت بازشدگی ۲ و نسبت دبی ۱.
Figure 7. Scouring bed topography for a. $V_m/V_p=3$ & $Q/Q_{max}=1$, b. $V_m/V_p=2$ & $Q/Q_{max}=1$.

جدول های ۲ تا ۴ نتایج حاصل از بررسی آماری توسط نرم افزار SPSS را نشان می دهد. لازم به ذکر است در این رابطه بجای نسبت سرعت V_m/V_p از نسبت زمان t_m/t_p (نسبت زمان باز شدن دریچه) استفاده شده است.

آب شستگی با هدف سهولت استفاده از نتایج این پژوهش، برای تعیین رابطه میزان حجم آب شستگی از نرم افزار تحلیل آماری SPSS استفاده شد؛ در این راستا صرفاً یک مدل آماری از مشاهدات آزمایشگاهی توسط نرم افزار ارائه شده است که دلیل آن بالا بودن ضریب رگرسیونی و نیز خطی بودن نتایج می باشد،

جدول ۲- الگوی ارائه شده.

Table 2. The presented pattern.

الگو Template	شماره الگو Template number
$V_s/V_t = 0.017 t_m/t_p + 0.018Q/Q_{max} + 0.32 H_o/B_g$	1
$V_s/V_t = -1.381t_m/t_p + 0.34H_o/B_g + 0.021$	2
$V_s/V_t = 0.012 t_m/t_p + 0.019Q/Q_{max} + 0.34 H_o/B_g - 0.038$	3
$V_s/V_t = 0.35 t_m/t_p + 0.36Q/Q_{max} + 0.61 H_o/B_g$	4

جدول ۳- ویژگی‌های آماری الگوی ارائه شده.

Table 3. Statistical characteristics of the presented pattern.

آزمون کوک دیستنس Cook's Distance	آزمون دورین واتسن Durbin Watson	R	ضریب R تعدیل شده Adjusted R Square	ردیف line
0.027	1.268	0.994	0.988	1
0.027	1.187	0.993	0.987	2
0.031	1.199	0.906	0.82	3
0.033	1.239	0.865	0.74	4

گردید. مقادیر RMSE، NRMSE و R² از روابط الگو، ۳ پارامتر RMSE، NRMSE و R² محاسبه زیر به دست می‌آیند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{obs,i} - C_{model,i})^2}{n}} \quad (4)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{C}_{obs}} \quad (5)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (C_{obs} - \bar{C}_{obs}) \cdot (C_{model} - \bar{C}_{model})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (C_{obs} - \bar{C}_{obs})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_{model} - \bar{C}_{model})^2}} \right)^2 \quad (6)$$

که در آن، C_{obs,i} ضرایب تخلیه‌ی مشاهده شده، n تعداد آزمایش‌های انجام شده می‌باشد. C_{model,i} مقادیر ضریب تخلیه تخمین زده شده و

جدول ۴- مقادیر R²، RMSE و NRMSE برای الگوی ارائه شده.

Table 4. R², RMSE and NRMSE values for the presented pattern.

NRMSE	RMSE	R ²	Parameter	
			Line	
0.022	0.012	0.988	1	
0.031	0.017	0.987	2	
0.102	0.079	0.82	3	
0.229	0.181	0.74	4	

شکل ۱ که به صورت رابطه ۷ ارائه شده است دارد از این رو این عنوان رابطه بهینه برای تعیین میزان آب‌شستگی در پژوهش حاضر ارائه گردید: بهترین برازش را با داده‌ها و شکل‌های این پژوهش

$$Vs/Vt = 0.017 tm/tp + 0.018Q/Qmax + 0.32 Ho/Bg \quad (7)$$

داده‌ها و اطلاعات

منبای تهیه مقاله رساله دکتری در دست انجام بهزاد تجزی دانشجوی دکتری رشته سازه‌های آبی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان می‌باشد. موضوع رساله مذکور شبیه‌سازی آزمایشگاهی الگوی جریان و رسوب در اثر بازشدگی دریچه کشتیرانی (مطالعه موردی: دریچه کشتیرانی رودخانه بهمن‌شیر) می‌باشد.

ساخت مدل آزمایشگاهی مورداستفاده در مدل فیزیکی در بهمن‌ماه ۱۳۹۶ آغاز شد که پس از ساخت در مدت یک سال به مدت ۶ ماه نیز انجام آزمایش‌ها به طول انجامید. مدل فیزیکی مذکور در مجتمع آموزش و پژوهش صنعت آب و برق شهید عباسپور واقع در شهر اهواز صورت گرفت.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تایید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت بهزاد تجزی به عنوان نویسنده اول این مقاله شامل دسترسی به داده، تحلیل و تفسیر، محاسبات، نگارش نسخه اولیه، ویرایش متن، انجام فعالیت‌های بصری و گرافیکی و مدلسازی می‌باشد.

مشارکت مهدی مفتاح هلقی به عنوان نویسنده مسئول این مقاله شامل دسترسی به داده، تحلیل و تفسیر، ویرایش متن، نظارت، راهنمایی می‌باشد.

مشارکت محسن سلیمانی بابرصاد در این مقاله شامل تحلیل و تفسیر، نظارت و راهنمایی می‌باشد.

مشارکت امیر احمد دهقانی در این مقاله شامل نظارت و راهنمایی می‌باشد.

با توجه به نزدیک بودن مقادیر R^2 و RMSE استفاده از شکل ۱ از نظر دقت و خطای کم‌تر، به‌عنوان بهینه‌ترین رابطه معرفی می‌گردد. نتایج ارائه‌شده در جدول‌های ۲ تا ۴ نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی به یکدیگر نزدیک می‌باشند که نشان از واقعی بودن ضرایب رگرسیون بوده است؛ ضمن آن‌که ارائه صرفاً یک رابطه توسط نرم‌افزار به‌عنوان نتیجه تحلیل آماری نشان از همبستگی نتایج و مشاهدات آزمایشگاهی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بررسی تأثیر نسبت سرعت بازشدگی دریچه مایتر بر حجم و عمق آب‌شستگی نشان داد به‌طورکلی با افزایش سرعت بازشدگی دریچه حجم آب‌شستگی افزایش و عمق آن کاهش یافت که به‌دلیل تمرکز جریان به مدت‌زمان بیشتر در حالت سرعت کم‌تر بازشدگی بود و باعث فرسایش عمقی بیشتر نسبت به حالت باز نمودن دریچه با سرعت بیشتر شد. نتایج نشان داد با افزایش سرعت بازشدگی دریچه حجم فرسایش تا ۱۷/۳ درصد افزایش یافت هم‌چنین با افزایش سرعت بازشدگی دریچه عمق فرسایش تا ۲۳ درصد کاهش نشان داد. لازم به ذکر است با افزایش دبی هم عمق و هم حجم چاله فرسایش افزایش یافت عمق فرسایش تا ۱۸ درصد و حجم چاله تا ۱۷ درصد افزایش نشان داد. در خصوص بار هیدرولیکی نیز نتایج نشان داد با افزایش بار هیدرولیکی عمق فرسایش تا ۴۲ درصد افزایش و حجم آب‌شستگی نیز تا ۸۵ درصد افزایش یافت.

تقدیر و تشکر

از دکتر امین مرادی و مجریان طرح احداث سد سلولی بهمن‌شیر که در زمینه داده‌ها و اطلاعات و هم‌چنین بازدیدهای میدانی در انجام این پژوهش مساعدت نموده‌اند تقدیر و تشکر می‌شود.

حمایت مالی

مبنای تهیه این مقاله رساله دکتری در دست انجام است که ذیل حمایت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در قالب گرنت دانشجو و گرنت استاد راهنما قرار گرفته است.

اصول اخلاقی

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

منابع

- Chen, J., Tang, H., Li, Z., and Dai, W. 2010. Multi-approach analysis of maximum riverbed Scour depth above subway tunnel. *Journal of Water Science and Engineering*. 3: 4. 431-442.
- Chepaikin, G.A. 1989. Hydraulic model studies of the main radial gates of navigation of locks. Translated from: *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo*. 8: 46-48.
- Saz Ab Pardazan Co. Comprehensive Studies of Bahmanshir and Karun Shipping Dams 2004. Khuzestan Water and Power Authority.
- Espa, P., and Sibilla, S. 2014. Experimental Study of the Scour Regimes Downstream of an Apron for Intermediate Tail water Depth Conditions. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 7: 4. 611-624.
- Estes, A.C., Frangopol, D.M., and Foltz, SD. 1997. A time-dependent reliability approach to the life cycle analysis of miter gates on locks and dams. ASCE Structures Congress and Exposition, Denver.
- Hamidifar, H., Omid, M.H., and Nasrabadi, M. 2010. Localized scouring of the bed downstream of the sliding valve. *Water and soil (agricultural sciences and industries)*. 24: 4. 728-736.
- Hong-Zhi, W., and Zao-jian, Z. 2014. Numerical Prediction of Hydrodynamic Forces on A Ship Passing Through A Lock. *China Ocean Eng*. 28: 3. 421-432.
- Lauth, T., Gordon, D., Rector, M., and Moeller, W. 2015. Scour and subsequent repair at lock & dam 25.
- Markussen, J.V., and Wilhelms, S.C. 1987. Scour protection for locks and dams 2-10 upper Mississippi river: Hydraulic Model Investigation. Department of the army Waterways Experiment Station, Corps of Engineers PO Box 631, Vicksburg, Mississippi. pp. 39180-0631.
- Onipchenko, G.F. 1969. Lock gates for high heads. *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo*. 9: 29-32.
- Studies of the master plan of irrigation and drainage network of Abadan and Khorramshahr Island. (1976). Khuzestan Water and Power Authority. pp. 85-174.
- Thomas Gambucci, P.E. 2010. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV. 309-320.
- Verelst, K., Vandenbruwaene, W., and Peeters, P. 2015. Erosion and sedimentation near the renovated weir lock complex of Asper in Belgium. *Scour and Erosion – Cheng, Draper & An (Eds)© 2015 Taylor & Francis Group, London*. pp. 535-544.
- Verma, D.V.S., and Arun, G. 2006. Scour downstream of a sluice gate. *The Indian society for hydraulics journal of hydraulic engineering*. pp. 57-65.



Experimental investigation of the effect of opening of single mitergate on the volume of river bed scouring (Case study: Bahmanshir navigational gate)

B. Tajari¹, M. Meftah Helghi^{*2}, M. Soleimani Babarsad³ and A.A. Dehghani²

¹Ph.D. Student of Water Structures, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

³Assistant Prof. of Water and Environmental Research Center of Shushtar Branch, Islamic azad University, Shushtar, Iran

Received: 04.17.2021; Accepted: 06.27.2021

Abstract

Background and Objectives: The opening and closing of the miter gates in the river direction have a special complexity that makes it necessary to study its effect on the bed-scouring pattern. The present study was performed on miter gate gates (*in the single gate opening position*) and investigated the effect of a single miter gate opening on the scouring volume of the riverbed (*case study; Bahmanshir shipping gate*). Timothy Loved (2012) used a physical model to investigate the condition of the upstream scour of the Dam of Mississippi River. The results showed that several holes were formed, the deepest of which is about 1.22 meters deep.

Materials and Methods: Based on the available laboratory facilities and conditions and the principle of similarity, a physical model with a scale of 20 ($LR=20$) was constructed. The present study tests were performed on the experimental flume in the hydraulic laboratory of Khuzestan Water and Power Industry Research Institute. In this study, the physical model of the miter gate was placed inside a rectangular flume 6 m long, 1.30 m wide, and 0.5 m deep. The depth of sediment from the half-flume to the end (*approximately 3 m in length*) was 20 cm and no sediment was considered upstream of the miter gate. Sediment particles used in the present study were supplied from Bahmanshir River, their average diameter (D_{50}) was 0.25 mm ($D_{50}=0.25\text{ mm}$) and determined by the Geotechnical Laboratory; Sedimentary particles were silt. In the direction of flow conveyance, the volume and amount of discharge were controlled by a valve and a digital flow meter. The flow slowly and with low discharge entered the flume and the desired hydraulic head was checked and recorded on both sides of the miter gate (*upstream and downstream of the miter gate*) and finally, the flow enters the pumping tank through the downstream channel after passing through the miter gate and the navigation lock area and returns to the cycle. The Miter gate was tested with different discharge ratios as well as different opening speeds when one of the miter gate gates was opened. The miter gate in this study was made of Teflon; Using a laser meter, the data of the flume bed elevation (*erosion and sedimentation*) were read, the values of which were calculated by volume.

Results: According to the results of Buckingham's dimensional analysis, several experiments were performed to determine the effect of parameters such as miter gate opening velocity ratio (2, 2.4, 3) and different discharge ratios (0.5, 0.75 and 1) on the scouring volume was done along the flume.

* Corresponding Author; Email: meftahhalaghi@gmail.com

Conclusion: The results of the study of the effect of miter gate opening rate ratio on volume and scour depth showed that in general, with increasing valve opening speed, scour volume increased and decreased, which was due to flow concentration for a longer time at lower opening speed and caused erosion. The depth was greater than the opening speed of the valve. The results showed that with increasing the opening speed of the valve, the erosion volume increased up to 17.3%, and also with increasing the opening speed of the valve, the erosion depth decreased to 23%. It should be noted that with increasing flow, both the depth and the volume of the erosion hole increased, the depth of erosion increased to 18% and the volume of the hole increased to 17%. Regarding the hydraulic head, the results showed that with increasing the hydraulic head, the erosion depth increased to 42% and the scour volume increased to 85%.

Keywords: Discharge ratio, Mitergate, Mitergate opening velocity ratio, Scouring volume