

An Experimental Investigation on the Effective Factors of Local Scouring Reduction around T-Shaped Bandal-Like Groynes

Bitā Zamani¹, Mehdi Meftah Halaghi^{*2}, Amir Ahmad Dehghani³,
Razieh Karimi Demneh⁴

1. M.Sc. Graduate in Water Structures, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: bita.zamaani@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: meftah@gau.ac.ir
3. Professor, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: a.dehghani@gau.ac.ir
4. Ph.D. Student in Water Structures, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: r.karimi1017@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 01.28.2023
Revised: 04.16.2023
Accepted: 04.30.2023

Keywords:
Bandal-like groyne,
Maximum scour depth,
Scour,
T-shaped bandal-like,
T-shaped groyne

ABSTRACT

Background and Objectives: The ecosystem and equilibrium of rivers can be significantly affected by the river bank erosion which can also limit the human access to the rivers. Groyne is an important river restoration structure that prevents bank erosion through deviation of flow from the river banks to the main channel. From the permeability aspect, these structures can be classified into three types of permeable, impermeable, and bandal-like (hybrid type which includes permeable and impermeable types). Moreover, these structures can be categorized to straight, T-shaped, and L-shaped configurations. This research aims to investigate the local scour around a new type T-shaped bandal like groyne, which is a combination of the bandal-like groyne and the T-shaped groyne and compare its performance with the T-shaped impermeable groyne.

Materials and Methods: The total number of 66 experiments were conducted through a straight flume (12 m length, 0.6 m width, and 0.6 m depth) under non-submerged and clear water conditions. T-shaped bandal like and T-shaped impermeable groyne structures were fabricated in three web to wing length ratios of 0.5, 0.75, and 1. Also, three upstream to downstream wing ratios of 0.5, 1, and 2 and the permeabilities of 33%, 50%, and 60% were selected for the T-shaped bandal like structure. The experiments were carried out at the flow discharge of 6 Ls⁻¹, 9Ls⁻¹, 12 Ls⁻¹ and 15 Ls⁻¹ in the presence of the T-shaped impermeable groynes and the T-shaped bandal-like groynes.

Results: It was revealed that, increasing the structure permeability resulted in decreasing of the maximum relative scour depth. Under 33%, 50%, and 60% permeabilities of the T-shaped bandal-like groynes, the maximum scour depth was decreased by 63%, 78%, and 83%, respectively compared to the T-shaped impermeable groynes. Moreover, it was observed that the maximum relative scour depth was increased by the average of 46% as for the greater values of structure length. The maximum relative scour depth was also increased for the greater values of flow discharge. It was found that there is no relationship between the maximum scour depth and the ratio of upstream wing length to the downstream wing length of groyne.

Conclusion: Based on the results, the permeability and length of the groynes and the flow discharge are among the factors affecting local scouring around T-shaped bandal-like groyne. The significant decrease in the relative scour depth in T-shaped bandal-like groynes compared to T-shaped impermeable groynes indicates that the T-shaped bandal-like groynes have better performance than the impermeable ones in scouring control, structural stability and river bank protection.

Cite this article: Zamani, Bita, Meftah Halaghi, Mehdi, Dehghani, Amir Ahmad, Karimi Demneh, Razieh. 2023. An Experimental Investigation on the Effective Factors of Local Scouring Reduction around T-Shaped Bandal-Like Groynes. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (1), 49-70.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2023.20991.3613

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی آزمایشگاهی عوامل مؤثر بر کاهش آب‌شستگی در آبشکن باندا لایک T شکل

بی‌تا زمانی^۱، مهدی مفتاح هلقی^{۲*}، امیر احمد دهقانی^۳، راضیه کریمی دمنه^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
رایانامه: bita.zamaani@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mefteh@gau.ac.ir
۳. استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: a.dehghani@gau.ac.ir
۴. دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
رایانامه: r.karimi1017@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۰۸/۱۱/۰۸ تاریخ ویرایش: ۲۷/۰۱/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۰/۰۲/۰۲</p> <p>واژه‌های کلیدی: آب‌شستگی، آبشکن باندا لایک، آبشکن T شکل، باندا لایک T شکل، حد اکثر عمق آب‌شستگی</p>	<p>سابقه و هدف: از جمله عوامل مهمی که پایداری، تعادل و اکوسیستم رودخانه‌ها را تهدید می‌کند و مانع بهره‌برداری مناسب انسان از این منابع آبی با ارزش می‌شود، فرسایش طبیعی سواحل و تخریب‌های ناشی از سیلاب است. آبشکن‌ها یکی از راهکارهای حفاظت از سواحل رودخانه‌ها هستند که از طریق انحراف جریان از کناره‌ها به قسمت میانی رودخانه از فرسایش و تخریب سواحل جلوگیری نموده و با کاهش سرعت جریان در کناره‌ها سبب ته‌نشینی رسوبات و در نتیجه تثبیت سواحل و ایجاد شرایط مناسب برای رشد آبزیان می‌شوند. آبشکن‌ها در انواع مختلف نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندا لایک (ترکیب نفوذپذیر و نفوذناپذیر) در شکل‌های متنوعی از جمله مستقیم، T شکل و L شکل از ساحل رودخانه احداث می‌شوند. هدف از پژوهش حاضر بررسی آب‌شستگی موضعی پیرامون نوع جدیدی از آبشکن تحت عنوان آبشکن باندا لایک T شکل که ترکیب آبشکن باندا لایک و آبشکن T شکل است به صورت آزمایشگاهی و مقایسه عملکرد آن با آبشکن نفوذناپذیر T شکل است.</p> <p>مواد و روش‌ها: در این پژوهش آبشکن‌هایی با سه نسبت طول جان آبشکن به طول بال آبشکن ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱، سه نسبت تقارن طول بال بالادست به بال پایین دست ۰/۵، ۱ و ۲ در چهار دبی ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ لیتر بر ثانیه، با سه نفوذپذیری ۰/۳۳، ۰/۵۰ و ۰/۶۰ درصد برای آبشکن باندا لایک T شکل، در مجموع در ۶۶ آزمایش مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه تحقیقات آب و رسوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در فلومی به طول ۱۲ متر، عرض و ارتفاع ۰/۶ متر در شرایط غیرمستغرق و آب زلال انجام گردید.</p>

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش نفوذپذیری آبشکن باندا لایک T شکل میزان حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی کاهش می‌یابد به طوری که حداکثر عمق آب‌شستگی در حضور آبشکن‌های باندا لایک T شکل با نفوذپذیری ۳۳، ۵۰ و ۶۰ درصد به طور میانگین به ترتیب ۶۳، ۷۸ و ۸۳ درصد نسبت به آبشکن شاهد نفوذناپذیر T شکل کاهش یافت. با افزایش طول آبشکن در هر دو سازه باندا لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی به طور میانگین ۴۶ درصد افزایش یافت. هم‌چنین نتایج نشان داد که حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی با افزایش دبی جریان در هر دو نوع سازه افزایش می‌یابد اما بین حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی و نسبت تقارن در هر دو نوع آبشکن ارتباطی یافت نشد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج به دست آمده، میزان نفوذپذیری آبشکن، طول آبشکن (میزان تنگ‌شدگی کانال) و دبی جریان از جمله عوامل مؤثر بر آب‌شستگی موضعی اطراف آبشکن باندا لایک T شکل می‌باشند. هم‌چنین کاهش قابل توجه میزان حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در آبشکن‌های باندا لایک T شکل با درصدهای نفوذپذیری متفاوت نسبت به آبشکن نفوذناپذیر T شکل نشان‌دهنده عملکرد بهتر آبشکن باندا لایک T شکل نسبت به نوع نفوذناپذیر آن در کنترل آب‌شستگی، پایداری سازه و حفاظت ساحل است.

استناد: زمانی، بیتا، مفتاح هلقی، مهدی، دهقانی، امیر احمد، کریمی دمنه، راضیه (۱۴۰۲). بررسی آزمایشگاهی عوامل مؤثر بر کاهش آب‌شستگی در آبشکن باندا لایک T شکل. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰(۱)، ۷۰-۴۹.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.20991.3613



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

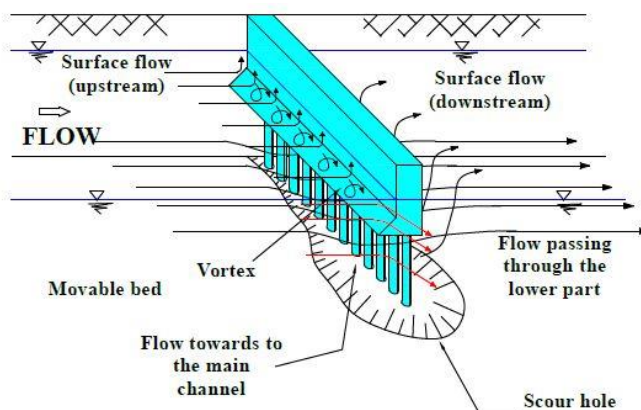
رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع آب شیرین قابل‌دسترس در دنیا هستند و مدیریت و حفاظت از آن‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. ازجمله عوامل مهمی که پایداری، تعادل و اکوسیستم رودخانه‌ها را به خطر می‌اندازد و مانع بهره‌برداری مناسب انسان از این منابع آبی باارزش می‌شود، فرسایش و تخریب سواحل است. روش‌های جلوگیری از فرسایش سواحل و تثبیت رودخانه براساس دو رویکرد متفاوت طبقه‌بندی می‌شوند: (۱) تقویت سواحل رودخانه و (۲) کاهش نیروهای هیدرودینامیک وارد بر سواحل رودخانه. احداث آبشکن در ساحل رودخانه که به‌عنوان یکی از راهکارهای متداول حفاظت سواحل رودخانه‌ها در برابر تخریب و فرسایش در نظر گرفته می‌شود، براساس رویکرد کاهش نیروهای هیدرودینامیک رودخانه عمل نموده و از طریق انحراف جریان از ساحل به میانه رودخانه از فرسایش کناره‌ها جلوگیری نموده و منجر به رسوب‌گذاری و تثبیت رودخانه می‌گردد (۱). نقش آبشکن در تنگ‌شدگی مقطع آبراهه و همچنین انحراف جریان سبب ایجاد ناحیه جریان گردابی و آشفتگی زیاد و به‌تبع آن توسعه حفره آب‌شستگی در اطراف این سازه می‌گردد. آب‌شستگی اطراف آبشکن‌ها یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که پایداری آن‌ها را به خطر می‌اندازد، بنابراین اندازه‌گیری و برآورد میزان آب‌شستگی اطراف این سازه بر اساس شرایط جریان و هندسه آبشکن اهمیت به‌سزایی دارد. به همین دلیل پژوهش‌های فراوانی در خصوص تأثیر پارامترهای هندسی آبشکن‌ها بر الگوی جریان و میزان آب‌شستگی اطراف این سازه‌ها صورت گرفته است. آبشکن‌ها در انواع مختلف نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندال‌لایک (ترکیب نفوذپذیر و نفوذناپذیر) در شکل‌های متنوعی ازجمله مستقیم، T شکل و L شکل

از ساحل رودخانه احداث می‌شوند. ازجمله مطالعاتی که در خصوص تأثیر پارامترهای هندسی آبشکن‌ها بر میزان آب‌شستگی اطراف آن‌ها و مقایسه آب‌شستگی در انواع مختلف آبشکن انجام شده است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. ازلدین و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی آزمایشگاهی آب‌شستگی موضعی اطراف آبشکن منفرد نفوذناپذیر در کانال مستقیم در سه طول آبشکن ۴، ۷ و ۱۰ سانتی‌متر دریافتند که تمام پارامترهای آب‌شستگی با افزایش عدد فرود افزایش می‌یابد و هم‌چنین با افزایش نسبت تنگ‌شدگی مقطع کانال (افزایش طول آبشکن)، افزایش می‌یابد (۲). پژوهش وافقی و همکاران (۲۰۰۹) در خصوص آب‌شستگی پیرامون آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه نشان داد که افزایش طول آبشکن، کاهش طول بال آبشکن، افزایش عدد فرود و تغییر موقعیت آبشکن به سمت پایین‌دست قوس سبب افزایش ابعاد چاله آب‌شستگی می‌گردد (۳، ۴). مهرنهاد و قدسیان (۲۰۱۲) با بررسی آب‌شستگی آبشکن نفوذناپذیر T شکل و بادپا و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی آب‌شستگی آبشکن نفوذپذیری توری‌سنگی نیز به نتایج مشابهی در خصوص تأثیر طول آبشکن بر میزان آب‌شستگی به نتایج مشابهی دست‌یافت‌اند (۵، ۶). عباسی و ملک‌نژاد یزدی (۲۰۱۲) تأثیر مشخصات هندسی آبشکن‌های نفوذپذیر مستقیم و T شکل بر آب‌شستگی موضعی دماغه آبشکن را در شرایط غیرمستغرق مورد آزمایش قرار دادند و دریافتند آبشکن‌های T شکل به دلیل عمق آب‌شستگی کم‌تر دماغه و پایداری سازه عملکرد بهتری نسبت به آبشکن مستقیم دارند (۷). نیر و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر آبشکن‌های ساده، L شکل و T شکل بر تغییرات زمانی آب‌شستگی اطراف آن‌ها را در کانال آزمایشگاهی مستقیم بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که آبشکن ساده و L شکل دارای بیش‌ترین

انواع رایج آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر باشد. تراگویی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی کاربرد سازه باندا لایک و تأثیر سازوکار این آبشکن بر الگوی جریان، انتقال رسوب و تغییرات بستر و مقایسه آن با آبشکن نفوذناپذیر و هم‌چنین ناکاگاوا و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی تغییرات بستر اطراف سازه‌های باندا لایک به صورت آزمایشگاهی و مدل‌سازی سه‌بعدی در شرایط غیرمستغرق همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، دریافتند آبشکن باندا لایک دارای آبشستگی موضعی کم‌تری در اطراف سازه و رسوب‌گذاری قابل‌توجهی در دیواره کانال (ساحل رودخانه) است. هم‌چنین بر اساس نتایج، افزایش رسوب‌گذاری در پایین‌دست این سازه و در نتیجه کاهش سرعت جریانی که از بخش نفوذپذیر پایینی سازه باندا لایک عبور می‌کند می‌تواند سبب بهبود حفاظت ساحل رودخانه شود. بخش نفوذناپذیر بالایی سازه باندا لایک که جریان را به سمت مجرای اصلی کانال منحرف می‌کند نیز می‌تواند به منظور افزایش عمق برای اهداف کشتیرانی و تثبیت مسیر رودخانه مورد استفاده قرار گیرد (۹، ۱۰، ۱۱).

عمق آبشستگی بوده و عمق آبشستگی آبشکن T شکل حدود $0.37y$ (عمق جریان) کم‌تر از سایر آبشکن‌هاست. هم‌چنین موقعیت حداکثر عمق آبشستگی در همه هندسه‌ها کمی عقب‌تر از نوک دماغه قرار دارد. هم‌چنین سرعت نسبی آبشستگی در آبشکن T شکل بیش‌تر است و در ۱۰ درصد زمان اولیه تعادل به بیش از ۹۰ درصد آبشستگی تعادلی می‌رسد. آبشکن‌های ساده و L شکل نیز به یکدیگر نزدیکند و در ۱۵ درصد زمان اولیه به بیش از ۸۰ درصد آبشستگی تعادلی می‌رسند (۸).

آبشکن باندا لایک نوع جدیدی از آبشکن است که به صورت ترکیبی از آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر ساخته می‌شود (شکل ۱). با توجه به مشکلات آبشستگی در آبشکن‌های نفوذناپذیر که پایداری سازه را به خطر می‌اندازد و در نتیجه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات آن را افزایش می‌دهد، استفاده از روش جایگزین مقرون‌به‌صرفه که آبشستگی کم‌تری در آن رخ دهد، برای حفاظت از ساحل و تثبیت سازه ضروری است. مطالعات آزمایشگاهی و میدانی که تاکنون روی سازه باندا لایک انجام شده است، نشان می‌دهد که این آبشکن می‌تواند جانسین مناسبی برای



شکل ۱- الگوی جریان اطراف آبشکن باندا لایک مستقیم در شرایط غیر مستغرق (ناکاگاوا و همکاران، ۲۰۱۱) (۹).

Figure 1. Flow pattern around a straight bandal-like groyne under the non-submerged condition (9).

ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی خصوصیات بستر اطراف انواع مختلف آبشکن از جمله آبشکن نفوذپذیر، آبشکن نفوذناپذیر و سه نوع آبشکن ترکیبی در شرایط غیرمستغرق دریافتند حالتی از آبشکن ترکیبی که بخش بالایی آن نفوذناپذیر و بخش پایینی آن نفوذپذیر است و به‌عنوان آبشکن باندا لایک شناخته می‌شود، دارای عملکرد هیدرومورفولوژیکی بهتری نسبت به سایر حالت‌های ترکیبی است. هم‌چنین نتایج نشان داد که آبشکن باندا لایک دارای حجم آب‌شستگی موضعی بزرگ و عمق آب‌شستگی نسبتاً کمی است. حفره آب‌شستگی بزرگ شرایط مطلوبی را برای حیات آبزیان و بهبود اکولوژی رودخانه فراهم می‌کند و عمق آب‌شستگی کوچک موجب ایمنی سازه و کاهش هزینه ساخت و نگهداری آن به دلیل حفاظت پنجه سازه می‌شود (۱۲). سردسته و همکاران (۲۰۲۰، ۲۰۲۱) آب‌شستگی موضعی و عملکرد هیدرودینامیکی نوع جدیدی از آبشکن به نام باندا لایک باله‌مثلثی که ترکیب آبشکن باندا لایک و صفحه مثلثی است و هم‌چنین آبشکن باندا لایک و نفوذناپذیر را در قوس ۱۸۰ درجه و شرایط غیرمستغرق و آب زلال مورد آزمایش قرار دادند و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، TOPSIS و SAW سازه بهینه را انتخاب نمودند. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آب‌شستگی در آبشکن باندا لایک باله مثلثی نسبت به آبشکن نفوذناپذیر ۳۱ درصد کاهش یافته و در دماغه سازه ایجاد شده است. هم‌چنین حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری پشت آبشکن باندا لایک باله‌مثلثی نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و باندا لایک به ترتیب ۴۷ و ۹۶ درصد افزایش یافت درحالی‌که حجم رسوب‌گذاری پشت این سازه کم‌تر از آبشکن نفوذناپذیر بود و رسوب‌گذاری طولانی‌تر و بهتری در امتداد ساحل بیرونی باندا لایک باله‌مثلثی ایجاد شد. مقایسه الگوی جریان اطراف سازه باندا لایک باله

مثلثی و باندا لایک با اندازه‌گیری سرعت جریان با استفاده از سرعت‌سنج مغناطیسی نشان داد که هر دو سازه باندا لایک و باندا لایک باله مثلثی قدرت جریان ثانویه در قوس داخلی را کاهش می‌دهند. در واقع آبشکن باندا لایک باله مثلثی قدرت جریان ثانویه را ۲۰ درصد بیش‌تر از آبشکن باندا لایک کاهش می‌دهد. هم‌چنین حداکثر تنش برشی نسبی برای سازه باندا لایک باله مثلثی ۱۷ درصد کم‌تر از باندا لایک به‌دست آمد (۱۳، ۱۴). سردسته و همکاران (۲۰۲۲) هم‌چنین با بررسی توپوگرافی بستر اطراف آبشکن‌های باندا لایک گوه‌ای، باندا لایک و نفوذناپذیر در کانالی با قوس ۱۸۰ درجه در شرایط غیرمستغرق و آب زلال دریافتند که حداکثر عمق آب‌شستگی در سازه باندا لایک گوه‌ای در فاصله دورتری از ساحل بیرونی و سازه رخ داد و پشته رسوبی نیز در پشت سازه و در امتداد و نزدیک به ساحل بیرونی و با طول بیش‌تر و فرم بهتر ایجاد گردید (۱۵).

جلیلی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر ارتفاع و استغراق آبشکن‌های باندا لایک، نفوذپذیر و نفوذناپذیر بر تغییرات رقوم بستر را به‌صورت آزمایشگاهی بررسی و نتایج را با یکدیگر مقایسه کردند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، با افزایش ارتفاع آبشکن (کاهش استغراق)، رسوب‌گذاری افزایش و آب‌شستگی کاهش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش عدد فرود میزان آب‌شستگی افزایش می‌یابد و خط‌القع‌ر به سمت میانه کانال منحرف می‌شود. مقایسه انواع آبشکن نشان داد که میزان آب‌شستگی در آبشکن نفوذناپذیر بیش‌تر از باندا لایک و نفوذپذیر بوده و در آبشکن نفوذپذیر کم‌تر از تمامی حالت‌های باندا لایک است (۱۶، ۱۷). رحیمی و همکاران (۲۰۱۷) ابعاد هندسی چاله آب‌شستگی اطراف سه نوع آبشکن نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندا لایک را در درصدهای نفوذپذیری ۳۳ و ۶۴ درصد و چهار دبی ۲۵، ۲۷، ۳۰ و ۳۳ لیتر

متفاوت آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر انجام شده است اما تاکنون تنها نوع مستقیم و باله‌مانی آبشکن باندا لایک مورد مطالعه قرار گرفته است و مطالعه بر روی انواع دیگری از آبشکن باندا لایک ضروری به نظر می‌رسد بنابراین در این پژوهش با توجه به عملکرد بهتر آبشکن‌های T شکل نسبت به انواع ساده و L شکل در کاهش آب‌شستگی به بررسی آب‌شستگی موضعی اطراف نوع جدیدی از آبشکن باندا لایک تحت عنوان آبشکن باندا لایک T شکل به صورت ترکیب آبشکن باندا لایک و آبشکن T شکل به منظور برخورداری از مزایای هر دو نوع آبشکن پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

عوامل مؤثر بر تغییرات بستر در این پژوهش شامل: عرض کانال (b)، عرض کانال در مقطع آبشکن (b_2)، طول جان آبشکن (b_1)، طول بال آبشکن (L)، طول بال بالادست (L_u)، طول بال پایین دست (L_d)، فاصله بین میله‌ها (a)، قطر میله‌ها (d)، سرعت متوسط جریان (V)، عمق جریان (h)، شتاب ثقل (g)، عمق آب‌شستگی (h_s)، قطر متوسط ذرات بستر (d_{50})، چگالی ذرات (ρ_s)، سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر (V_c)، چگالی سیال (ρ)، لزجت دینامیکی سیال (μ) در نظر گرفته شده است.

با انتخاب h_s به عنوان متغیر وابسته رابطه ۱ را می‌توان نوشت:

$$h_s = f(b_1, b_2, b, L_u, L_d, L, a, d, V, h, g, d_{50}, \rho_s, V_c, \rho, \mu) \quad (1)$$

می‌آید:

$$\frac{h_s}{h} = f\left(\frac{b_1}{h}, \frac{b_2}{h}, \frac{b}{h}, \frac{L_u}{h}, \frac{L_d}{h}, \frac{L}{h}, \frac{a}{h}, \frac{d}{h}, \frac{V}{\sqrt{gh}}, \frac{d_{50}}{h}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{V_c}{\sqrt{gh}}, \frac{\mu}{\rho h \sqrt{gh}}\right) \quad (2)$$

بر ثانیه در شرایط غیرمستغرق و آب زلال در آزمایشگاه بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش درصد نفوذپذیری میزان حداکثر ابعاد چاله آب‌شستگی کاهش می‌یابد و ابعاد چاله فرسایشی اطراف آبشکن نفوذناپذیر به طور محسوسی بیش‌تر از آبشکن نفوذپذیر و باندا لایک با نفوذپذیری ۳۳ و ۶۴ درصد است و میزان حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در آبشکن باندا لایک و نفوذپذیر به دلیل تأثیر بخش نفوذپذیر آبشکن باندا لایک در کاهش مقدار حداکثر آب‌شستگی، به هم نزدیک است. هم‌چنین عرض نسبی چاله آب‌شستگی در سازه باندا لایک عمدتاً تحت تأثیر بخش نفوذپذیر سازه است. بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش عدد فرود ابعاد چاله آب‌شستگی افزایش می‌یابد که تأثیر آن در آبشکن‌های نفوذپذیر و باندا لایک کم‌تر می‌باشد (۱۸). کوچک و همکاران (۲۰۱۸) و شجاعیان و همکاران (۲۰۱۵) نیز با بررسی تأثیر درصد نفوذپذیری آبشکن باندا لایک بر حداکثر عمق آب‌شستگی اطراف آن‌ها در شرایط مستغرق و درصدهای نفوذپذیری متفاوت و مقایسه با نوع نفوذپذیر به نتایج مشابهی دست یافتند (۲۰، ۱۹).

در پژوهش‌های پیشین، تأثیر شکل‌ها و هندسه‌های متفاوتی از آبشکن‌ها بر میزان ابعاد آب‌شستگی اطراف آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. مرور پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که آبشکن باندا لایک عملکرد بهتری نسبت به آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر در تثبیت ساحل، کنترل آب‌شستگی و پایداری سازه دارد. علاوه بر این، بیش‌تر پژوهش‌ها بر روی شکل‌های

با استفاده از تئوری π باکینگهام رابطه ۲ به دست

پارامتر $\frac{\mu}{\rho h \sqrt{gh}}$ به دلیل تلاطم جریان و کم اثر بودن لزجت، حذف اثر $\frac{d_{50}}{h}$ به دلیل در نظر گرفتن یک نوع دانه‌بندی و تقسیم برخی پارامترهای بی‌بعد بر یکدیگر، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{h_s}{h} = f\left(\frac{b_1}{L}, \frac{L_u}{L_d}, \frac{a}{d}, Fr, \frac{V_c}{\sqrt{gh}}\right)$$

بخش نفوذناپذیر آبشکن‌های باندا لایک از جنس PVC ساخته شده و بخش نفوذپذیر آن‌ها از میله‌های به جنس فلز استیل و قطر ۴ میلی‌متر ساخته شدند. حداکثر طول آبشکن بر اساس استاندارد^۱ FHWA و مراجع بررسی شده، معادل ۲۰ درصد عرض فلوم و ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و طول بال آبشکن نیز در تمامی حالت‌ها ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. ارتفاع آبشکن‌ها به گونه‌ای انتخاب گردید که آبشکن همواره به صورت غیرمستغرق عمل نماید بنابراین با توجه به ارتفاع رسوب ۲۵ سانتی‌متر و حداکثر عمق جریان ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع آبشکن‌ها ۲۵ سانتی‌متر بالای رسوب ساخته شد. در جدول ۱ مشخصات آبشکن‌های مورداستفاده در آزمایش‌های این پژوهش و در شکل ۲ نمای آبشکن باندا لایک T شکل در کانال به همراه متغیرهای حاصل از تحلیل ابعادی نشان داده شده است.

آزمایش‌های پژوهش حاضر با ۳ نسبت L_d به L_u (به مقادیر ۰/۵، ۱ و ۲)، ۳ نسبت فاصله L به b_1 (به مقادیر ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱)، ۳ نسبت a به d (به اندازه‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵) و ۴ دبی ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ لیتر بر ثانیه انجام شد. با توجه به ثابت بودن پارامتر $\frac{\rho_s}{\rho}$ و حذف

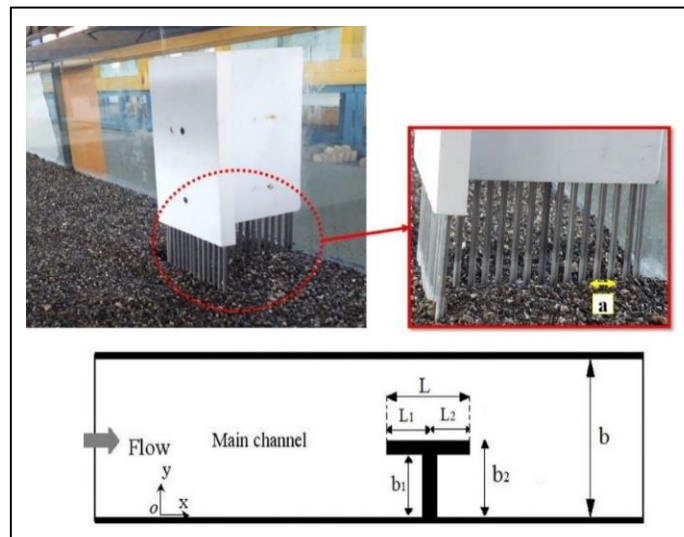
(۳)

آزمایش‌های پژوهش حاضر، در آزمایشگاه تحقیقات آب و رسوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در یک فلوم مستطیلی با طول ۱۲ متر، عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شد. رسوبات بستر از جنس ماسه با دانه‌بندی یکنواخت، قطر متوسط ۱/۴۵ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ۱/۴۶ انتخاب گردید. سازه آبشکن در حدود ۶/۲ متر از ابتدای کانال با بستر رسوبی به ارتفاع ۰/۲۵ متر و طول ۲ متر نصب شد. بالادست و پایین‌دست ناحیه رسوب با دو سکوی فلزی به ارتفاع ۰/۲۵ متر (هم‌ارتفاع رسوبات بستر) از سایر قسمت‌ها مجزا شد. در این پژوهش بر اساس آنالیز ابعادی انجام شده و پارامترهای بی‌بعد به دست آمده، از ۳۶ حالت آبشکن T شکل نفوذناپذیر و باندا لایک با طول‌های متفاوت، نسبت‌های متفاوت تقارن بال و نفوذپذیری متفاوت استفاده گردید (جدول ۱). آبشکن‌های نفوذناپذیر و

جدول ۱- مشخصات آیشکن‌های مورد استفاده.

Table 1. The groyne properties.

L_d (cm)	L_u (cm)	b_1 (cm)	L (cm)	ارتفاع آیشکن Groyne height (cm)	d (mm)	تعداد	تعداد	تعداد	درصد نفوذپذیری Permeability (%)	a (mm)	نوع آیشکن
						میل‌ها در $b_1=6\text{cm}$ Number of steel used in $b_1=6\text{cm}$	میل‌ها در $b_1=9\text{cm}$ Number of steel used in $b_1=9\text{cm}$	میل‌ها در $b_1=12\text{cm}$ Number of steel used in $b_1=12\text{cm}$			
6,8,4	6,4,8	6,9,12	12	50	-	-	-	-	-	-	نفوذناپذیر شکل T
6,8,4	6,4,8	6,9,12	12	50	4	20	24	28	50	4	باندال‌لایک شکل T
						16	20	22	60	6	



شکل ۲- آیشکن باندال‌لایک T شکل در کانال آزمایشگاهی و معرفی متغیرهای حاصل از تحلیل ابعادی (الف: نمای سه‌بعدی سازه به‌همراه نمای نزدیک‌تر بخش نفوذپذیر سازه (میل‌ها)، ب: شماتیک پلان سازه در کانال).

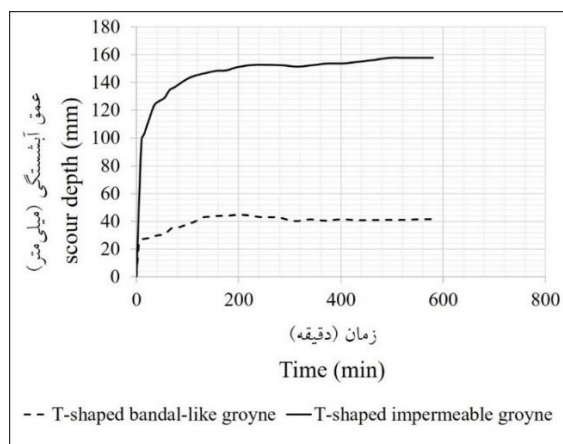
Figure 2. T-shaped bandal-like groyne in flume with introduction of dimensional analysis variables (A: 3D view of the structure with the bigger view of the permeable part, B: schematic plan of the structure in flume).

ساعت تا زمانی که از قدرت جریان گردابه‌ای کاسته شده و آب‌شستگی اطراف آیشکن‌ها به تعادل رسید ادامه یافت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بیش از ۹۰ درصد آب‌شستگی در حضور آیشکن نفوذناپذیر T شکل در مدت ۱۵۰ دقیقه اول و در حضور آیشکن باندال‌لایک T شکل در ۱۳۵ دقیقه اول ایجاد شده است. به‌این‌ترتیب زمان انجام آزمایش‌ها با در نظر گرفتن ضریب اطمینان، برای آیشکن نوع

برای تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها، دو آزمایش زمان تعادل برای آیشکن نفوذناپذیر T شکل و آیشکن باندال‌لایک T شکل در دبی حداکثر یعنی دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه انجام شد. معمولاً باید آزمایش‌ها تا زمانی ادامه داشته باشد که به حداکثر آب‌شستگی خود برسد و بر اساس توصیه میا و ناگو (۲۰۰۳) در هر یک ساعت بیش از یک میلی‌متر آب‌شستگی رخ ندهد (۲۱)؛ بنابراین آزمایش‌های زمان تعادل به مدت ۱۰

دو نوع آبشکن مورد استفاده مشخص شده و در شکل ۳ ارائه گردیده است.

نفوذناپذیر دو ساعت و نیم و برای نوع باندا لایک دو ساعت و ربع در نظر گرفته شد. نتایج گسترش آبشستگی با زمان در آزمایش زمان تعادل برای هر



شکل ۳- منحنی زمان تعادل برای آبشکن باندا لایک T شکل و آبشکن نفوذناپذیر T شکل.

Figure 3. Equilibrium Time Curve for both T-Shaped Bandal-Like and T-Shaped Impermeable Groynes.

عمق متناظر با سرعت آستانه حرکت توسط دریچه انتهایی تنظیم و آزمایش شروع می‌شد. سرعت آستانه حرکت ذرات رسوب با توجه به ابعاد مقطع فلوم آزمایشگاهی، دبی جریان و عمق جریان به دست آمده با استفاده از دستگاه ترازسنج دیجیتالی بر اساس رابطه $Q=AV$ با مشاهده آستانه حرکت ذرات رسوب محاسبه شد. سپس با در نظر گرفتن مشخصات رسوب (قطر متوسط ۱/۴۵ میلی‌متر و چگالی نسبی ۲/۶۵)، سرعت آستانه حرکت ذرات بستر با استفاده از رابطه نواک و نالوری (۱۹۷۵) (رابطه ۴) محاسبه و صحت‌سنجی شد.

نحوه انجام آزمایش‌ها به این صورت بود که ابتدا آبشکن‌ها را در موقعیت موردنظر قرار داده و سپس سطح بستر را کاملاً صاف نموده و دستگاه ترازسنج دیجیتالی را در نزدیک سازه صفر نموده، در مرحله بعد با استفاده از دستگاه تنظیم فرکانس متناظر با دبی جریان، فرکانس دبی موردنظر که قبلاً محاسبه شده و در جدولی ارائه شده بود، تنظیم می‌شد به این صورت که ابتدا پمپ با دبی کم روشن و سپس به آهستگی به دبی موردنظر رسانده می‌شد. در این حالت دریچه انتهایی تا اندازه‌ای باز بود که رسوبات در کل منطقه مورد آزمایش در این دبی به حرکت درنیاید. پس از اطمینان از ثبات دبی و به حالت دائمی رسیدن جریان،

$$\frac{V_c}{[g(G_s-1)D]^{1/2}} = a \left(\frac{R}{D}\right)^b \quad (4)$$

اندازه‌گیری عمق آبشستگی در فلوم از دستگاه ترازسنج دیجیتالی استفاده شد. پس از رسیدن به زمان انجام آزمایش‌ها، آزمایش‌ها متوقف و آب درون فلوم

در حین آزمایش‌ها حداکثر عمق آبشستگی در زمان‌های مختلف برداشت شد تا تغییرات آبشستگی اطراف سازه در طول زمان مشخص شود. جهت

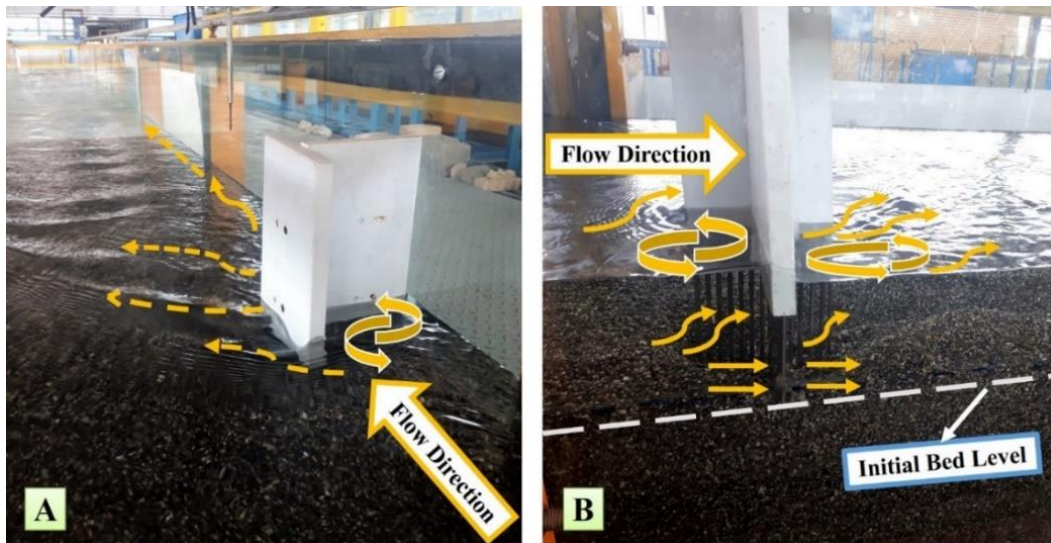
جریان اطراف آبشکن‌ها با توجه به شکل و نوع سازه تغییر می‌کند. بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی پژوهش حاضر، الگوی جریان اطراف آبشکن باندا لایک T شکل به دو بخش جریان نزدیک سطح آب و جریان نزدیک سطح بستر تقسیم می‌شود به این صورت که جریان با سرعت زیاد در نزدیکی سطح آب در برخورد با بخش بالایی نفوذناپذیر و بال بالادست این سازه مانند جریان اطراف آبشکن نفوذناپذیر T شکل عمل کرده و به سمت میانه کانال منحرف می‌گردد که سبب ایجاد جریان گردابی در کناره‌ها در داخل محدوده بال بالادست و جان آبشکن شده و در نتیجه باعث ایجاد آبشستگی در این ناحیه می‌شود. همچنین انحراف جریان از قسمت بال آبشکن باعث ایجاد آبشستگی در ناحیه مقابل بال آبشکن می‌گردد. جریان با سرعت کم‌تر در نزدیکی سطح بستر از بخش پایینی نفوذپذیر جان و بال آبشکن عبور می‌کند. جریان رو به پایین در بخش نفوذپذیر پایینی آبشکن باندا لایک T شکل به همراه جریان اصلی که از این بخش عبور می‌کند، رسوبات شسته شده در محدوده بال بالادست و جان آبشکن را به سمت پایین دست سازه منتقل می‌کند و به همراه جریان‌های چرخشی موضعی منفرد اطراف میله‌ها باعث ایجاد آبشستگی در محدوده بال پایین دست و جان آبشکن می‌شود. علاوه بر این، جریان‌های چرخشی موضعی اطراف هر میله در آرایش ردیف میله‌های بخش نفوذپذیر و همچنین انسداد جریان در بخش بالایی آبشکن سبب کاهش سرعت جریان و به تبع آن ته‌نشینی رسوبات در ناحیه پایین دست سازه آبشکن می‌گردد. در شکل ۴ الگوی جریان و گردابه‌های اطراف آبشکن باندا لایک T شکل متقارن در نماهای متفاوت نشان داده شده است.

به‌آرامی زهکشی شده به‌گونه‌ای که تغییری در توپوگرافی بستر ایجاد نشود. سپس حداکثر عمق آبشستگی، طول و عرض محدوده آبشستگی ایجاد شده اطراف سازه اندازه‌گیری شد. در نهایت داده‌های مربوط به اندازه‌گیری آبشستگی در طول آزمایش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در مجموع ۶۶ آزمایش برای هر دو آبشکن نفوذناپذیر T شکل و باندا لایک T شکل انجام شد. ابتدا آبشکن نفوذناپذیر T شکل در چهار دبی ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ لیتر بر ثانیه، سه نسبت تقارن (L_u/L_d) ۰/۵، ۱ و ۲ و سه نسبت طول جان به بال آبشکن (b_1/L) ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ (طول بال ثابت ۱۲ سانتی‌متر و سه طول جان ۶، ۹ و ۱۲ سانتی‌متر) در ۳۶ حالت مورد آزمایش قرار گرفت سپس آبشستگی اطراف آبشکن باندا لایک T شکل متقارن با طول ۱۲ سانتی‌متر (حداکثر طول آبشکن) در چهار دبی ذکر شده مورد آزمایش قرار گرفت. با توجه به این‌که نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های آبشکن باندا لایک T شکل در چهار دبی نشان داد که مقادیر آبشستگی اطراف این آبشکن در دبی‌های کم‌تر بسیار کوچک بوده و آبشستگی در دبی‌های کم به‌خوبی نشان داده نمی‌شود بنابراین تمامی آزمایش‌های آبشکن باندا لایک T شکل در نسبت فاصله بین میله‌ها به قطر میله‌ها (a/d) ۰/۵، ۱ و ۱/۵، درصدهای نفوذپذیری ۳۳ درصد، ۵۰ درصد و ۶۰ درصد، نسبت‌های تقارن (L_u/L_d) ۰/۵، ۱ و ۲ و طول جان ۶، ۹ و ۱۲ سانتی‌متر در دبی حداکثر (دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه) در ۲۷ حالت انجام شد.

نتایج و بحث

الگوی جریان اطراف آبشکن باندا لایک T شکل: آبشکن‌ها با کاهش سطح مقطع کانال جریان آب را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهند. الگوی

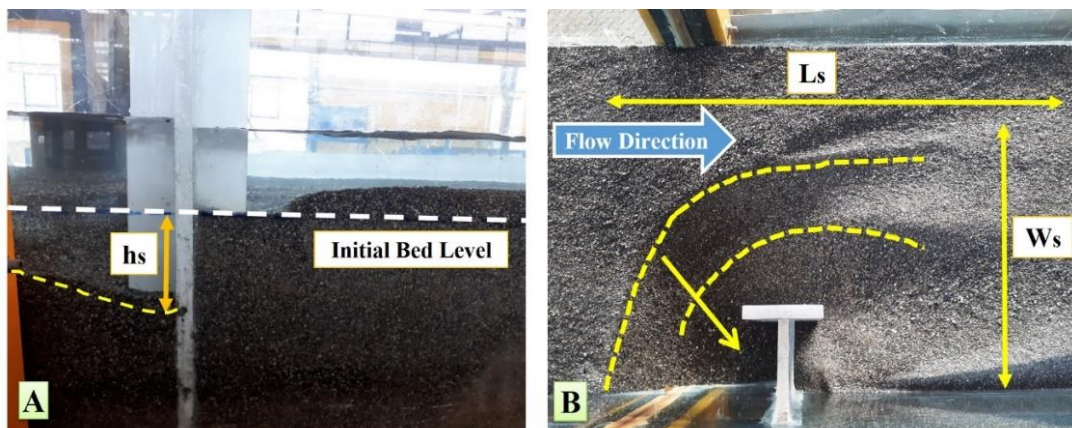


شکل ۴- الگوی جریان اطراف آبشکن باندال‌لایک T شکل (الف: نمای پشت سازه، ب: نمای جانبی سازه).

Figure 4. Flow Pattern around the T-Shaped Bandal-Like Groyne (A: lateral view, B: rear view).

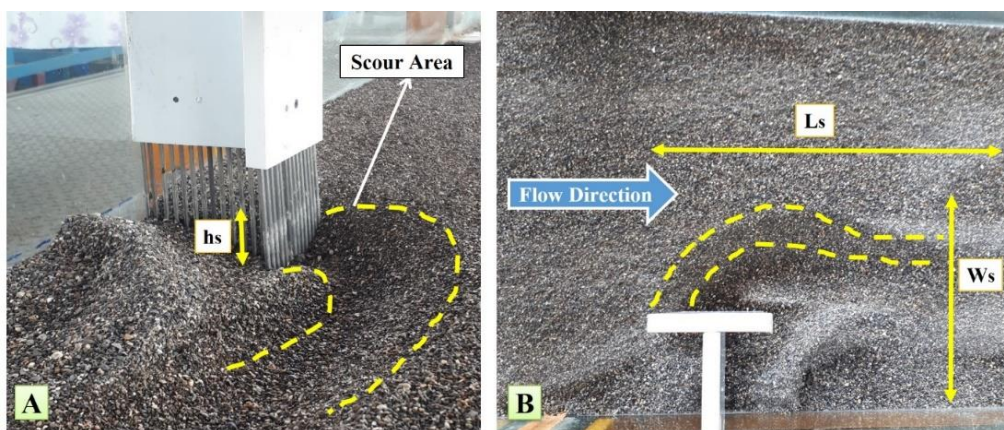
آب‌شستگی (L_s) و حداکثر عرض حفره آب‌شستگی (W_s) در دو نمای متفاوت نشان داده شده است. تفاوت شکل و ابعاد حفره آب‌شستگی اطراف دو نوع آبشکن باندال‌لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل با توجه به تفاوت الگوی جریان اطراف دو نوع آبشکن را می‌توان در این شکل‌ها مشاهده نمود.

در شکل ۵ محدوده آب‌شستگی موضعی اطراف آبشکن نفوذناپذیر T شکل و در شکل ۶ محدوده آب‌شستگی موضعی اطراف آبشکن باندال‌لایک T شکل، هر دو در حالت متقارن و طول ۱۲ سانتی‌متر و شرایط مشابه هیدرولیکی به همراه پارامترهای حداکثر عمق آب‌شستگی (h_s)، حداکثر طول حفره



شکل ۵- محدوده آب‌شستگی موضعی اطراف آبشکن نفوذناپذیر T شکل (الف: نما از پشت، ب: نما از بالا).

Figure 5. Local Scouring around T-Shaped Impermeable Groyne (A: rear view, B: top view).

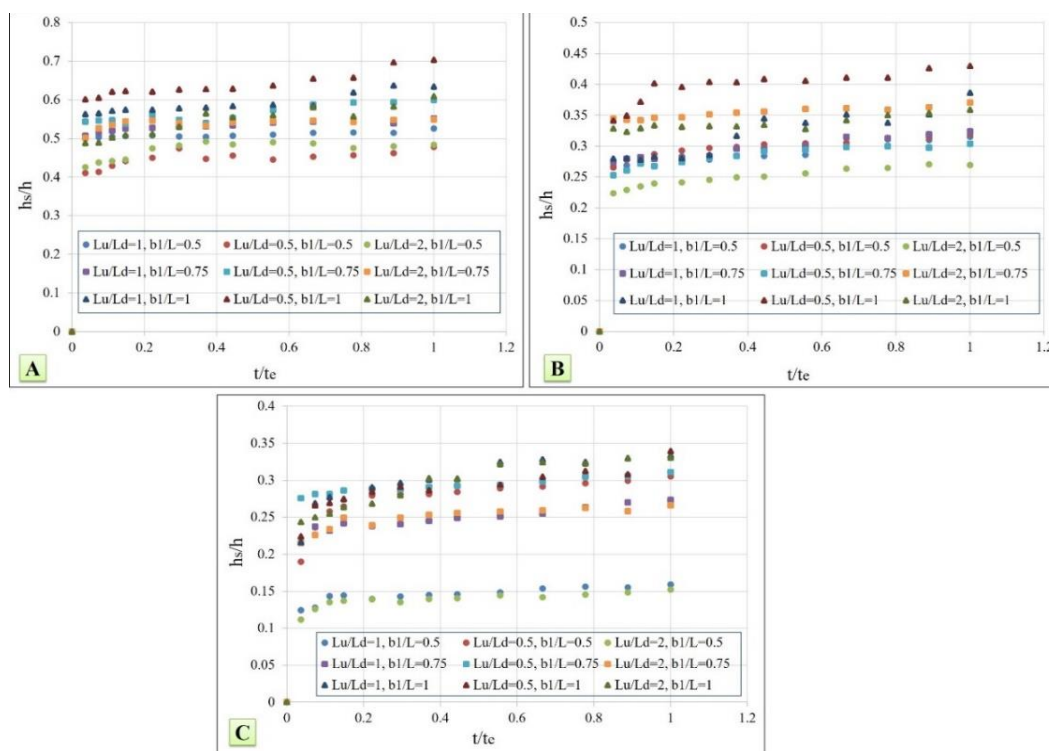


شکل ۶- محدوده آب‌شستگی موضعی اطراف آبشکن باندا لایک T شکل (الف: نما از بالا، ب: نمای سه‌بعدی محدوده آب‌شستگی).

Figure 6. Local Scouring around the T-Shaped Bandal-Like Groyne (A: 3D view, B: top view).

کاهش می‌یابد زیرا در ابتدای آزمایش‌ها قدرت گردابه‌ها زیاد بوده و تأثیر آن بر آب‌شستگی در تمامی آزمایش‌ها مشاهده می‌شود اما با گذشت زمان و افزایش عمق و ابعاد حفره آب‌شستگی از قدرت گردابه‌ها برای انتقال رسوبات به سمت پایین دست کاسته می‌شود.

بررسی تغییرات زمانی حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی: در شکل ۷ تغییرات زمانی حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی ($\frac{h_s}{h}$) آبشکن باندا لایک T شکل در تمامی حالت‌های آزمایش‌های باندا لایک T شکل ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نرخ تغییر حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی با افزایش زمان

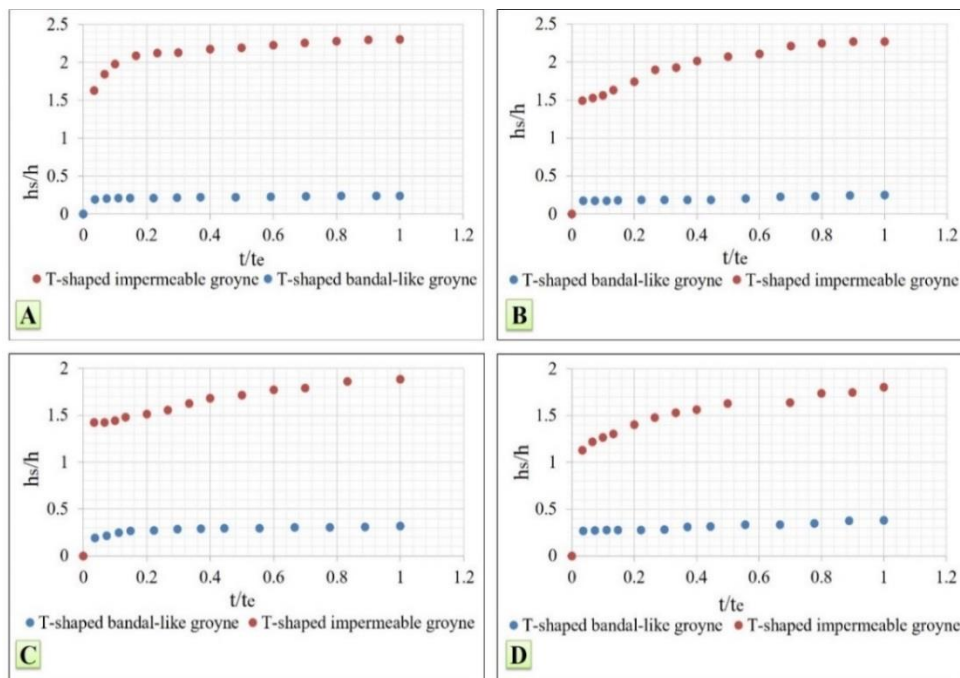


شکل ۷- تغییرات زمانی حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در آبشکن‌های باندا لایک T شکل با نسبت‌های تقارن و طول‌های متفاوت آبشکن (الف: نفوذپذیری ۳۳ درصد، ب: نفوذپذیری ۵۰ درصد، ج: نفوذپذیری ۶۰ درصد).

Figure 7. Time variations of relative maximum scour depth in the T-shaped bandal-like groynes (A: 33% permeability, B: 50% permeability, C: 60% permeability).

باندال لایک T شکل در عدم تشکیل جریان گردابی و نقش بخش بالایی نفوذناپذیر سازه در انحراف جریان با سرعت بالا به میانه کانال است. نمودارها هم‌چنین نشان می‌دهند که در دقایق اولیه آزمایش‌ها تأثیر گردابه‌ها بر انتقال رسوبات کاملاً مشهود بوده اما با گذشت زمان و افزایش عمق حفره آب‌شستگی از قدرت گردابه‌ها برای حمل رسوبات از بالادست سازه به پایین دست آن کاسته شده است.

شکل ۸، مقایسه تغییرات حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی اطراف آبشکن باندال لایک T شکل و آبشکن نفوذناپذیر T شکل در طول زمان را در ۴ دبی ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ لیتر بر ثانیه در حالت متقارن ($L_u/L_d=1$) و طول جان ۱۲ سانتی‌متر (نسبت $b_1/L=1$) نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نرخ تغییر حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی اطراف آبشکن باندال لایک T شکل بسیار کم‌تر از آبشکن نفوذناپذیر T شکل است. دلیل این امر تأثیر بخش نفوذناپذیر سازه



شکل ۸- مقایسه تغییرات زمانی آب‌شستگی نسبی در آبشکن باندال لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل در حالت متقارن $L_u/L_d=1$ ، $b_1/L=1$ (الف: در دبی ۶ لیتر بر ثانیه، ب: دبی ۹ لیتر بر ثانیه، ج: دبی ۱۲ لیتر بر ثانیه، د: دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه).

Figure 8. Comparison of time variations of the relative scour depth in T-shaped bandal-like and T-shaped impermeable groynes in $b_1/L=1$ and $L_u/L_d=1$ (A: $Q=6$ L/s, B: $Q=9$ L/s, C: $Q=12$ L/s, D: $Q=15$ L/s).

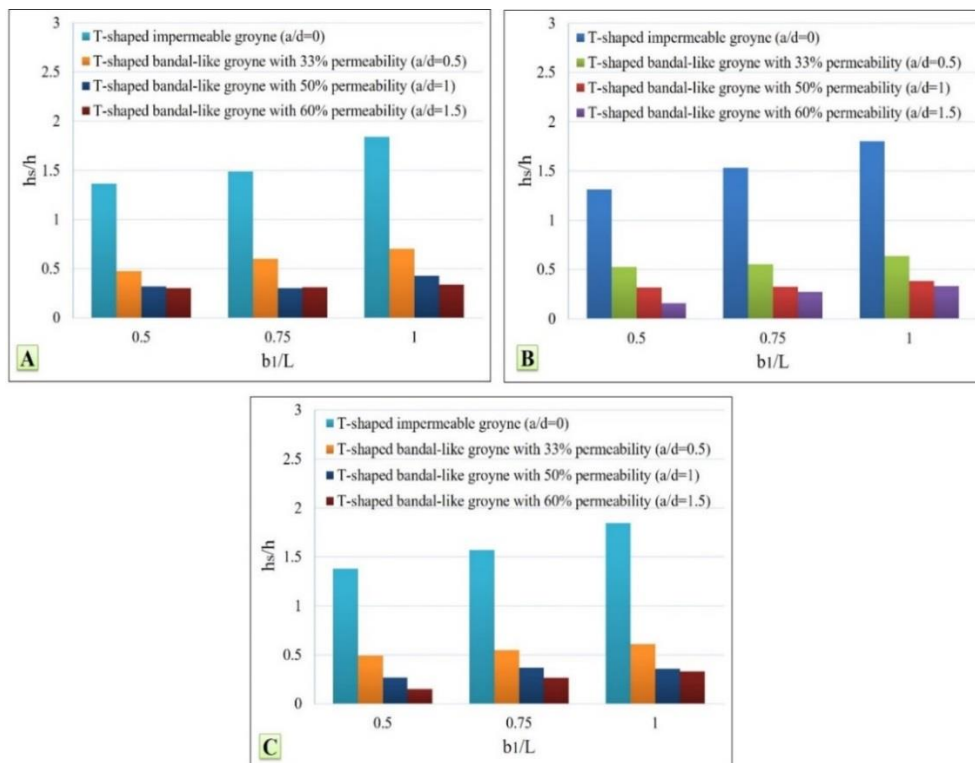
همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود و بر اساس نتایج به‌دست آمده از نمودارهای رابطه بین $\frac{b_1}{L}$ و $\frac{h_s}{h}$ ، با افزایش طول جان آبشکن و افزایش نسبت $\frac{b_1}{L}$ آب‌شستگی نسبی در هر دو آبشکن باندال لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل افزایش می‌یابد. علت این پدیده را می‌توان این‌گونه توضیح داد که با افزایش

ارتباط بین $\frac{b_1}{L}$ و حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در آبشکن باندال لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل: در شکل ۹ ارتباط بین $\frac{b_1}{L}$ و حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی ($\frac{h_s}{h}$) در آبشکن‌های باندال لایک T شکل با درصد‌های نفوذپذیری متفاوت و آبشکن نفوذناپذیر T شکل در دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه و نسبت‌های تقارن ($\frac{L_u}{L_d}$) متفاوت ارائه گردیده است.

قدرت فرسایش و انتقال رسوب جریان افزایش یافته و به همراه جریان اصلی منجر به افزایش عمق آب‌شستگی می‌شود. نتیجه به‌دست‌آمده با نتایج پژوهش واقفی و همکاران (۱۳۸۷) در خصوص تأثیر تغییر طول آبشکن‌های نفوذناپذیر T شکل بر ابعاد آب‌شستگی و پژوهش ازلدین (۲۰۰۷) برای آبشکن نفوذناپذیر مستقیم مطابقت دارد.

هم‌چنین با توجه به نمودارهای شکل ۹، حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در آبشکن نفوذناپذیر T شکل با شدت بیش‌تری نسبت به آبشکن‌های باندا لایک T شکل در اثر افزایش طول افزایش یافته است که علت آن تأثیر بخش نفوذپذیر پایینی آبشکن باندا لایک T شکل در عبور بخشی از جریان از آبشکن و کاهش قدرت گردابه‌ها در آبشکن T شکل نوع باندا لایک نسبت به نوع نفوذناپذیر است.

طول آبشکن عرض کانال در محدود آبشکن کم‌تر شده و میزان تنگ‌شدگی مقطع کانال افزایش می‌یابد. افزایش تنگ‌شدگی مقطع در محل قرارگیری آبشکن موجب افزایش اختلاف فشار هیدرولیکی بالادست و پایین‌دست مقطع تنگ‌شده می‌شود که سبب افزایش قدرت گردابه‌هایی که در این ناحیه در نزدیک بستر قرار دارد می‌گردد در نتیجه تنش برشی در دماغه آبشکن و محدوده بین دیواره بال و بدنه آبشکن بیش‌تر می‌شود و به دنبال آن میزان آب‌شستگی افزایش می‌یابد. تأثیر دیگر افزایش طول آبشکن و تنگ‌شدگی مقطع، افزایش سرعت و انحراف بخش بیش‌تری از جریان به سمت دماغه و افزایش جریان‌های عرضی است. توسعه جریان‌های عرضی و گردابه‌های قائم منجر به تشدید قدرت گردابه‌های نعل اسبی می‌گردد. با افزایش قدرت گردابه‌های نعل اسبی



شکل ۹- تغییرات حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی برحسب نسبت طول جان به طول بال آبشکن (b_1/L)

در درصدهای نفوذپذیری متفاوت و دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه (در حالت الف: $Lu/Ld=0.5$ ، ب: $Lu/Ld=1$ ، ج: $Lu/Ld=2$).

Figure 9. The relationship between the relative maximum scour depth and the ratio of b_1/L in different permeability and $Q=15$ L/s (A: $Lu/Ld=0.5$, B: $Lu/Ld=1$, C: $Lu/Ld=2$).

۶ لیتر بر ثانیه و نسبت تقارن ۲ و به طور میانگین ۶۷/۱ درصد در تمامی حالت‌ها بوده است.

براساس نتایج به دست آمده از آزمایش‌های آبشکن‌های باندا لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل در حالت‌های مختلف، بیشترین مقدار آبشستگی نسبی $(\frac{h_s}{h})$ ، ۱/۸۴ و بیشترین مقدار حداکثر عمق آبشستگی (h_s) ۱۶۴ میلی‌متر بوده که مربوط به آبشکن نوع نفوذناپذیر T شکل در نسبت تقارن $L_u/L_d=2$ ، طول جان ۱۲ سانتی‌متر یا $b_1/L=1$ است. هم‌چنین کم‌ترین مقدار آبشستگی نسبی $(\frac{h_s}{h})$ ۰/۱۵ و کم‌ترین مقدار حداکثر عمق آبشستگی (h_s) ۱۲ میلی‌متر به دست آمد که مربوط به آبشکن باندا لایک T شکل با نفوذپذیری ۶۰ درصد $(a/d=1/5)$ ، نسبت تقارن $L_u/L_d=2$ و $b_1/L=0/5$ (طول جان ۶ سانتی‌متر) می‌باشد.

ارتباط بین $\frac{a}{d}$ و حداکثر عمق آبشستگی نسبی در آبشکن باندا لایک T شکل: همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، با افزایش میزان $\frac{a}{d}$ و درصد نفوذپذیری آبشکن باندا لایک T شکل از ۳۳ درصد تا ۶۰ درصد، میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی $(\frac{h_s}{h})$ اطراف سازه در تمامی حالت‌های آزمایش‌ها کاهش می‌یابد. دلیل این امر تأثیر قابل‌ملاحظه بخش نفوذپذیر آبشکن و گردابه‌های ایجاد شده بین میله‌ها در آبشستگی اطراف سازه است. با افزایش درصد نفوذپذیری یا به عبارتی افزایش فاصله بین میله‌ها بخش بیش‌تری از جریان از میدان تأثیر آبشکن عبور کرده که سبب کاهش قدرت گردابه‌ها و جریان‌های رو به پایین می‌گردد. علاوه بر این، همان‌گونه که در شکل ۹ نشان داده شده است، حداکثر عمق آبشستگی نسبی آبشکن‌های باندا لایک T شکل با درصدهای نفوذپذیری متفاوت به میزان قابل‌توجهی کم‌تر از آبشکن نفوذناپذیر T شکل است که این نشان می‌دهد آبشکن‌های باندا لایک T شکل دارای عملکرد بهتری در کنترل آبشستگی و پایداری سازه نسبت به آبشکن‌های نفوذناپذیر T شکل هستند. دلیل

مقدار کاهش عمق آبشستگی نسبی در آبشکن‌های باندا لایک T شکل نسبت به آبشکن‌های نفوذناپذیر T شکل در نسبت‌های مختلف $\frac{b_1}{L}$ و نسبت تقارن ۰/۵، به طور میانگین حداقل ۶۲/۱۲ درصد در نفوذپذیری ۳۳ درصد و حداکثر ۷۹/۴۲ درصد در نفوذپذیری ۶۰ درصد است.

مقدار کاهش عمق آبشستگی نسبی در آبشکن‌های باندا لایک T شکل نسبت به آبشکن‌های نفوذناپذیر T شکل در نسبت‌های $\frac{b_1}{L}$ مختلف و نسبت تقارن ۱، به طور میانگین حداقل ۶۲/۸۶ درصد در نفوذپذیری ۳۳ درصد و حداکثر ۸۳/۸۶ درصد در نفوذپذیری ۶۰ درصد است.

مقدار کاهش عمق آبشستگی نسبی در آبشکن‌های باندا لایک T شکل نسبت به آبشکن‌های نفوذناپذیر T شکل در نسبت‌های $\frac{b_1}{L}$ مختلف و نسبت تقارن ۲، به طور میانگین حداقل ۶۵/۴۵ درصد در نفوذپذیری ۳۳ درصد و حداکثر ۸۴/۷ درصد در نفوذپذیری ۶۰ درصد است.

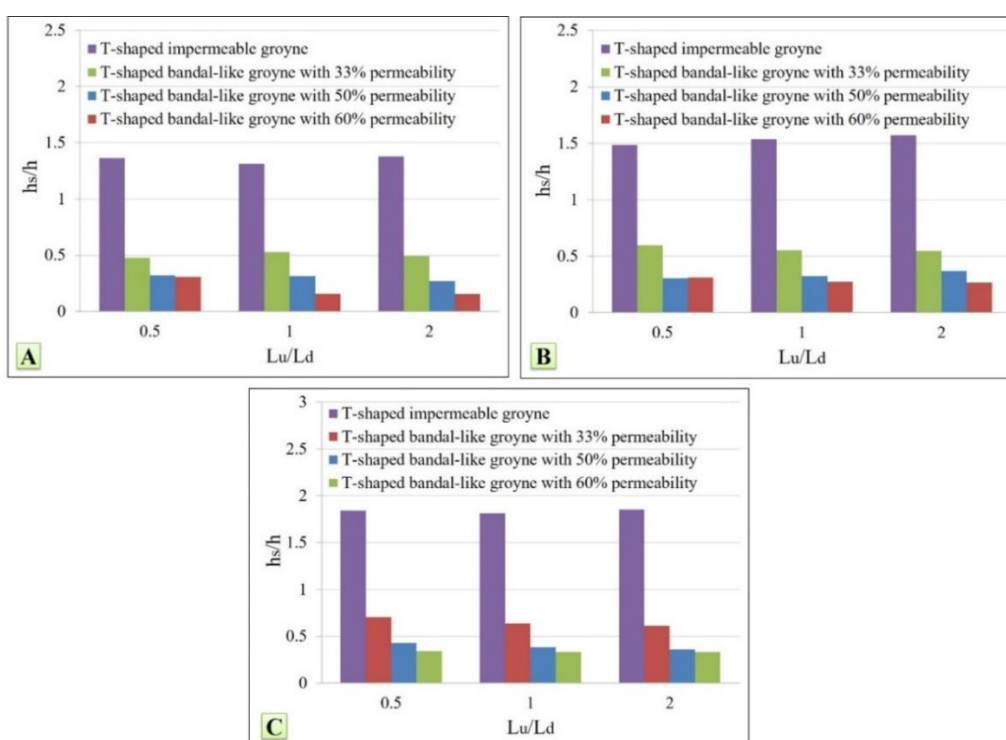
میزان عمق آبشستگی نسبی با افزایش طول آبشکن در آبشکن باندا لایک T شکل، حداقل ۱۱/۲۳ درصد افزایش یافته است که این میزان افزایش در حالت نفوذپذیری ۶۰ درصد و نسبت تقارن ۰/۵ ایجاد شده است. هم‌چنین مقدار عمق آبشستگی نسبی با افزایش طول آبشکن حداکثر ۱۱۷/۱۵ درصد افزایش یافته است که این میزان در حالت نفوذپذیری ۶۰ درصد و نسبت تقارن ۲ مشاهده گردید. حداکثر عمق آبشستگی نسبی با افزایش طول آبشکن باندا لایک T شکل از تمامی حالت‌های آزمایش به طور میانگین ۶۷/۶۴ درصد افزایش یافت.

میزان افزایش حداکثر عمق آبشستگی نسبی با افزایش طول آبشکن (افزایش نسبت $\frac{b_1}{L}$ از ۰/۵ تا ۱) در آبشکن نفوذناپذیر T شکل، حداقل ۲۲/۵۵ درصد در حالت دبی ۱۲ لیتر بر ثانیه و نسبت تقارن ۱ (حالت متقارن)، حداکثر ۱۴۵/۳۶ درصد در حالت دبی

تغییرات حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در آبشکن باندا لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل بر حسب نسبت‌های تقارن ($\frac{L_u}{L_d}$): همان‌طور که در نمودارهای شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود، بین نسبت $\frac{L_u}{L_d}$ و $\frac{h_s}{h}$ در هر دو آبشکن باندا لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل به دلیل نزدیک بودن مقادیر حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی ارتباطی یافت نشد که این امر نشان‌دهنده تأثیر ناچیز نسبت طول بال بالادست به بال پایین دست آبشکن‌های T شکل باندا لایک و نفوذناپذیر بر گردابه‌های ناحیه بین بال و جان آبشکن و میزان حداکثر عمق آب‌شستگی است. در این نمودارها هم‌چنین کاهش آب‌شستگی نسبی با افزایش درصد نفوذپذیری نیز نشان داده شده است.

افزایش قابل‌ملاحظه حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی اطراف آبشکن نفوذناپذیر T شکل نسبت به سازه باندا لایک T شکل این است که در آبشکن‌های نفوذناپذیر جریان پس از برخورد به دیواره آبشکن به سمت بستر حرکت نموده و پس از برخورد به بستر و ایجاد گردابه‌های نعل اسبی و گردابه‌های شیاری با قدرت بیشتری باعث شسته شدن رسوبات در این ناحیه می‌شود. نتایج حاصل با نتایج پژوهش‌های رحیمی و همکاران (۲۰۱۷) و کوچک و همکاران (۲۰۱۸) در خصوص تأثیر نفوذپذیری آبشکن‌های باندا لایک مطابقت دارد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، حداکثر عمق آب‌شستگی آبشکن نفوذناپذیر T شکل نسبت به آبشکن‌های باندا لایک T شکل با درصد نفوذپذیری ۳۳، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد در نسبت‌های Lu/Ld متفاوت به ترتیب حدود ۳، ۵ و ۶ تا ۸ برابر بیش تر است.



شکل ۱۰- تغییرات حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی بر حسب نسبت تقارن (L_u/L_d) در درصدهای نفوذپذیری متفاوت و دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه (در الف: $b_1/L=0.5$ ، ب: $b_1/L=0.75$ ، ج: $b_1/L=1$).

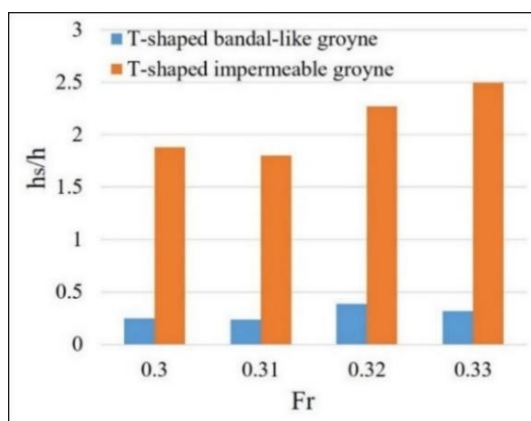
Figure 10. The relationship between the relative maximum scour depth and the ratio of L_u/L_d in $Q=15$ L/s and in groynes with different permeabilities (A: $b_1/L=0.5$, B: $b_1/L=0.75$, C: $b_1/L=1$).

اثر افزایش قدرت گردابه‌ها نیز تنش برشی اعمالی از طرف جریان بیش‌تر شده و عمق آب‌شستگی افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های رحیمی و همکاران (۲۰۱۷)، کوچک و همکاران (۲۰۱۸) و جلیلی و همکاران (۲۰۱۸) در خصوص تغییرات حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی با تغییرات عدد فرود آبشکن باندا لایک و هم‌چنین با پژوهش واقفی و همکاران (۱۳۸۷) برای آبشکن نفوذناپذیر T شکل و پژوهش ازلدین (۲۰۰۷) برای آبشکن‌های نفوذناپذیر مستقیم مطابقت دارد.

همان‌گونه که در شکل ۱۱ مشاهده می‌گردد بازه تغییرات عدد فرود در آبشکن نفوذناپذیر T شکل بزرگ‌تر از آبشکن باندا لایک T شکل است و علت آن این است که آستانه حرکت ذرات رسوب مشاهده‌شده در آبشکن باندا لایک T شکل در عمق آب کم‌تری نسبت به آبشکن نفوذناپذیر T شکل در همان دبی ایجاد شده است و همان‌طور که در رابطه عدد فرود به صورت $Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$ ملاحظه می‌شود، با کاهش عمق آب، مقدار عدد فرود کاهش می‌یابد بنابراین بازه تغییرات عدد فرود در آبشکن باندا لایک T شکل کم‌تر از آبشکن نفوذناپذیر T شکل شده است. در رابطه عدد فرود ذکر شده، Fr عدد فرود جریان، V سرعت جریان، g شتاب گرانش و h عمق جریان می‌باشد.

طبق نتایج به دست آمده از نسبت تقارن‌های متفاوت آبشکن‌های باندا لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل، بیش‌ترین مقدار آب‌شستگی نسبی $(\frac{h_s}{h})$ ۱/۸۴ و بیش‌ترین مقدار حداکثر عمق آب‌شستگی (h_s) ۱۶۴ میلی‌متر بوده که اطراف آبشکن نوع نفوذناپذیر T شکل در نسبت تقارن $L_u/L_d=2$ ، طول جان ۱۲ سانتی‌متر ($b_1/L=1$) ایجاد شده است. هم‌چنین کم‌ترین مقدار آب‌شستگی نسبی $(\frac{h_s}{h})$ ۰/۱۵ و مربوط به آبشکن باندا لایک T شکل با نفوذپذیری ۶۰ درصد ($a/d=1/5$)، نسبت تقارن $L_u/L_d=2$ و طول جان ۶ سانتی‌متر ($b_1/L=0/5$) بوده است.

ارتباط بین عدد فرود و حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در آبشکن باندا لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل: شکل ۱۱ تغییرات حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی بر حسب عدد فرود را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود، حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در هر دو آبشکن باندا لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل افزایش یافته است. دلیل این امر آن است که با افزایش دبی جریان و افزایش عدد فرود، سرعت جریان افزایش می‌یابد. افزایش سرعت برخورد جریان به سازه باعث افزایش قدرت جریان پایین‌رونده و افزایش شدت گردابه‌های نزدیک بستر و اطراف آبشکن می‌گردد. در



شکل ۱۱- تغییرات حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی نسبت به عدد فرود جریان در آبشکن باندا لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل در حالت $b_1/L=1$ و $L_u/L_d=1$.

Figure 11. The relationship between the relative maximum scour depth and Froude number in T-shaped bandal-like and T-shaped impermeable groyne with the ratios of $L_u/L_d=1$ and $b_1/L=1$.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از مشاهدات آزمایشگاهی و اندازه‌گیری‌های انجام‌شده و تفسیرهای ارائه‌شده، نتایج نهایی را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- بر اساس نمودارهای حاصل از تغییرات زمانی حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی اطراف آبشکن‌ها، نرخ تغییر حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی با افزایش زمان کاهش می‌یابد زیرا در ابتدای آزمایش‌ها قدرت گردابه‌ها زیاد بوده و تأثیر آن بر آب‌شستگی در تمامی آزمایش‌ها مشاهده می‌شود اما با گذشت زمان و افزایش عمق و ابعاد حفره آب‌شستگی از قدرت گردابه‌ها برای انتقال رسوبات به سمت پایین‌دست کاسته می‌شود. هم‌چنین نرخ تغییر حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی اطراف آبشکن باندا لایک T شکل بسیار کم‌تر از آبشکن نفوذناپذیر T شکل است که دلیل این امر تأثیر بخش نفوذناپذیر سازه باندا لایک T شکل در عدم تشکیل جریان گردابی و نقش بخش بالایی نفوذناپذیر سازه در انحراف جریان با سرعت بالا به میانه کانال است.

- با افزایش درصد نفوذپذیری آبشکن باندا لایک T شکل حداکثر عمق آب‌شستگی کاهش می‌یابد به طوری که حداکثر عمق آب‌شستگی در حضور آبشکن‌های باندا لایک T شکل با نفوذپذیری ۳۳، ۵۰ و ۶۰ درصد به طور میانگین به ترتیب ۶۳، ۷۸ و ۸۳ درصد نسبت به آبشکن شاهد نفوذناپذیر T شکل کاهش یافت که این امر نشان‌دهنده عملکرد بهتر آبشکن باندا لایک T شکل نسبت به نوع نفوذناپذیر آن در کنترل آب‌شستگی، پایداری سازه و حفاظت ساحل است.

- با افزایش طول آبشکن در هر دو سازه باندا لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی به طور میانگین ۴۶ درصد افزایش یافت. دلیل افزایش عمق آب‌شستگی با افزایش طول

سازه، افزایش اختلاف فشار هیدرولیکی بالادست و پایین‌دست سازه در اثر تنگ‌شدگی مقطع و در نتیجه افزایش قدرت گردابه‌ها و افزایش تنش برشی بستر در ناحیه تشکیل گردابه‌ها است. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان افزایش حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در آبشکن باندا لایک T شکل از بین تمامی حالت‌های آزمایش، به ترتیب ۱۱/۲۲ درصد و ۱۱۷/۱۵ درصد به دست آمد و در آبشکن نفوذناپذیر T شکل کم‌ترین و بیش‌ترین افزایش حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی به ترتیب ۲۲/۵۵ درصد و ۱۴۵/۳۶ درصد به دست آمد.

- حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی در آبشکن نفوذناپذیر T شکل با شدت بیش‌تری نسبت به آبشکن‌های باندا لایک T شکل با افزایش طول افزایش می‌یابد که علت آن تأثیر بخش نفوذناپذیر پایینی آبشکن باندا لایک T شکل در عبور بخشی از جریان از آبشکن و کاهش قدرت گردابه‌ها در آبشکن T شکل نوع باندا لایک نسبت به نوع نفوذناپذیر است.

- با افزایش عدد فرود و دبی جریان حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی افزایش می‌یابد. علت این امر آن است که با افزایش دبی جریان، سرعت جریان افزایش یافته و به تبع آن قدرت جریان رو به پایین و گردابه‌ها اطراف سازه و در نتیجه تنش برشی اعمالی از طرف جریان افزایش می‌یابد.

- تغییر نسبت بال بالادست به بال پایین‌دست آبشکن باندا لایک T شکل و نفوذناپذیر T شکل با توجه به ثابت بودن اندازه بال آبشکن ارتباطی با تغییرات حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی ندارد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از داوران این مقاله که با نظرات خود موجب بهبود متن حاضر شده‌اند تشکر می‌نمایند. پژوهش حاضر در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

برداشت داده‌ها، انجام محاسبات، ثبت و تجزیه و تحلیل نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله و انجام اصلاحات. نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طرح تحقیق و روش‌شناسی، مشارکت در آنالیزها، راهنمایی و نظارت تحقیق، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله.

نویسنده سوم: استاد مشاور پایان‌نامه، طرح تحقیق و روش‌شناسی، مشارکت در آنالیزها، مشاوره و نظارت تحقیق.

نویسنده چهارم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشاوره و نظارت تحقیق.

اصول اخلاقی

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

حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش در قالب گرنت دانشجویی نویسنده اول این مطالعه برای پایان‌نامه کارشناسی ارشد بوده است و در این پژوهش از ابزارها و امکانات آزمایشگاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان استفاده گردیده است.

طبیعی گرگان صورت گرفته است و نویسندگان از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که موجبات تسهیل انجام این پژوهش و دسترسی به آزمایشگاه تحقیقات آب و رسوب را فراهم نموده‌اند تقدیر و تشکر می‌نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های پژوهش حاضر حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول مقاله است که در آزمایشگاه تحقیقات آب و رسوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به دست آمده است.

تعارض منافع

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

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این پژوهش به صورت زیر است:

نویسنده اول: جمع‌آوری اطلاعات لازم و پیشینه پژوهش، تهیه و آماده‌سازی مواد و شرایط انجام آزمایش (تهیه رسوبات، آماده‌سازی فلوم، ساخت مدل و جایگذاری آن در فلوم)، انجام آزمایش‌ها، ثبت و

منابع

1. Julien, P.Y. 2002. River Mechanics. Cambridge University Press, New York, pp. 501-553.
2. Ezzeldin, M.M., Saafan, T.A., Rageh, O.S., and Nejm, L. 2007. Local scour around spur dikes. Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11. Sharm El-Sheikh, Egypt. (pp. 779-795).
3. Vaghefi, M., Ghodsian, M., and Salehi Neyshaboori, S.A.A. 2009. Experimental study on scouring around single T-shaped spur dike on a 90 degree bend. Iran Water Resources Research. 4: 3. 57-69. (In Persian)
4. Vaghefi, M., Ghodsian, M., and Salehi Neyshaboori, S.A.A. 2009. Experimental study on the effect of a T-shaped spur dike length on scour in a 90 channel bend. Arabian Journal for Science and Engineering. 34: 2. 337-348.
5. Mehrnahad, A.R., and Ghodsian, M. 2012. Experimental Investigation on the Effect of Length of Spur Dike and Grain Size on Scour Around T-shaped Spur dike in a 90° Bend. Iran-Water Resources Research, 8: 2. 71-79.
6. Badpa, Z., Heidari, Z., and Fazli, M. 2018. Experimental study of the effect of the length of gabion spur dike on flow pattern

- and topography of bed in a channel with movable bed. 49: 4. 891-905.
7. Abbasi, A.A., and Maleknejad Yazdi, M. 2012. Experimental Investigation the Effect of Geometry Parameters of Straight and T Shape Gabion Groynes on Local Scouring. *Journal of irrigation and water engineering*. 2: 4. 95-107. (In Persian)
 8. Nayyer, Sh., Farzin, S., Karami, H., and Rostami, M. 2018. Experimental Study on the Effect of Spur Dike's Different Shapes and on Time Variation of Scour Depth around Them. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*. 19: 72. 33-50. (In Persian)
 9. Teraguchi, H., Nakagawa, H., Kawaike, K., Baba, Y., and Zhang, H. 2011. Alternative method for river training works: bandal-like structures. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*. 67: 4. 151-156.
 10. Teraguchi, H., Nakagawa, H., Kawaike, K., Baba, Y., and Zhang, H. 2011. Effects of hydraulic structures on river morphological processes. *International Journal of Sediment Research*. 26: 3. 283-303.
 11. Nakagawa, H., Teraguchi, H., Kawaike, K., Baba, Y., and Zhang, H. 2011. Analysis of bed variation around bandal-like structures. *Disaster Prevention Research Institute Annuals*. 54: 497-510.
 12. Zhang, H., Nakagawa, H., Ogura, M., and Mizutani, H. 2013. Experiment study on channel bed characteristics around spur dykes of different shapes. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A2 (Applied Mechanics (AM))*. 69: 2. 489-499.
 13. Sardasteh, A., Ayyoubzadeh, S.A., Bejestan, M.S., and Samani, J.M.V. 2020. River bed sediment management by the winged bandal-like structure and selection of optimum structure using ranking of SAW and TOPSIS methods. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 44: 4. 1373-1383.
 14. Sardasteh, A., Shafai Bejestan, M., Ayyoubzadeh, S.A., and MV Samani, J. 2021. Hydrodynamic Performance of Triangular Winged Bandal-like Structure in a 180-degree Bend. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 23: 3. 737-749.
 15. Sardasteh, A., Ayyoubzadeh, S. A., Shafai Bajestan, M., and Mohammad Vali Samani, J. 2022. Experiment Study on Bed Topography around Wedged Bandal-like, Bandal-like and Impermeable Spur dike Structures at 180 Degree Bend in Non-Submerged Conditions. *Irrigation Sciences and Engineering*, 45: 3. 63-77.
 16. Jalili, M., Bakhtiyari, M., Kashefipour, S.M., and Shehni Karam Zadeh, N. 2018. Experimental Analysis of The Effect of Bandal-like Spur Dike Submergence on Bed Topography in 90 Degree Bend. *Journal of irrigation sciences and engineering*. 40: 4. 141-154. (In Persian)
 17. Jalili, M., Bakhtiyari, M., Kashefipour, S.M., and Shehni Karam Zadeh, N. 2018. Experimental investigation the effect of submersible Bandal like and normal type of spur dike on bed elevation changes at 90 degree mild bend. *Journal of water and soil conservation*. 25: 1. 147-164. (In Persian)
 18. Rahimi, S., Kashefipour, S.M., Shafai Bajestan, M., and Fathi, A. 2017. Experimental investigation on the scour hole geometric dimensions in different spur dikes in 90 degree bend for non-submerged conditions. *Journal of water and soil (Agricultural sciences and technology)*. 31: 1. 101-111. (In Persian)
 19. Koochak, P., Kashefipour, S. M., Ghomeshi, M., and Fathi, A. 2018. Investigation of the effect of the Bandal-like permeability on the maximum scour depth in a 90 degree bend and in submerged condition. *Journal of marine sciences and technology*. 17: 1. 97-109. (In Persian)
 20. Shojaeian, Z., Kashefipour, S.M., and Mosavi Jahromi S.H. 2015. Experimental study of the effect of permeability percentage of Bandal like spur dike on maximum depth of scour hole. *Water and soil science (Agricultural Science)*. 25: 3. 1-11.
 21. Mia, M.F., and Nago, H. 2003. Design method of time-dependent local scour at circular bridge pier. *Journal of Hydraulic Engineering*. 129(6):420-427. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:6(420).