



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷

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

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر آبشکن‌های نوع باندا لایک مستغرق و معمولی بر تغییرات رقوم بستر در قوس ۹۰ درجه ملایم

محسن جلیلی<sup>۱</sup>، \* مرتضی بختیاری<sup>۲</sup>، سید محمود کاشفی پور<sup>۳</sup> و نیما شهنی کرمزاده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی رودخانه، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استادیار گروه مهندسی رودخانه،

دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، <sup>۲</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** فرسایش کناری از جمله مهم‌ترین معضلات برای رودخانه‌ها به‌خصوص در قوس‌ها می‌باشد یکی از روش‌های مؤثر و به صرفه جهت ساماندهی رودخانه‌ها در محل قوس‌ها استفاده از آبشکن‌هاست. الگوی جریان در قوس محافظت شده توسط سری آبشکن‌ها، به دلیل تأثیرات آبشکن‌ها بر الگوی جریان و جریانات ثانویه و تأثیرات متقابل آبشکن‌ها برهم پیچیده‌تر از حالت عادی است. باندا لایک نوعی از سازه آبشکن است که به منظور محافظت از سواحل و نیز بهبود عمق جریان برای کشتی‌رانی در رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سازه نوع جدیدی از آبشکن است که به صورت ترکیبی از آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر ساخته می‌شود.

**مواد و روش‌ها:** با توجه به اهمیت مطالعه الگوی جریان و رسوب با حضور سازه آبشکن، پژوهش در این خصوص همواره مورد توجه پژوهشگران مختلف هیدرولیک و مهندسی رودخانه بوده است اما بررسی‌ها نشان می‌دهد با توجه به جدید بودن سازه آبشکن باندا لایک، در این مورد مطالعه کم‌تری صورت گرفته است. هدف از پژوهش حاضر بررسی آزمایشگاهی، مقایسه تأثیر استفاده آبشکن باندا لایک و آبشکن‌های معمولی نفوذناپذیر و نفوذپذیر بر تغییرات رقوم بستر بوده است. بدین منظور آبشکن باندا لایک در سه ارتفاع ۶/۵ سانتی‌متر و ۸/۵ سانتی‌متر و ۱۲ سانتی‌متر و در دبی‌های ۲۵، ۲۷، ۳۰، ۳۳ لیتر بر ثانیه و آبشکن‌های نوع نفوذناپذیر و نفوذپذیر در شرایط مستغرق در فلومی با قوس ۹۰ درجه مورد آزمایش قرار گرفته است. آزمایش‌های پژوهش حاضر در فلوم با قوس ۹۰ درجه ملایم به طول ۱۱ متر، عرض ۷۰ سانتی‌متر و نسبت شعاع قوس به عرض آن (R/B) برابر ۴ انجام گرفته است.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد با افزایش عدد فرود آبستگي افزایش یافته و بیش‌ترین میزان آبستگي مربوط به آزمایش شاهد نفوذناپذیر و کم‌ترین آبستگي در آزمایش شاهد نفوذپذیر رخ داده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد عمق آبستگي‌ها در حضور سازه باندا لایک نسبت به سازه شاهد نفوذناپذیر کاهش یافته است و

\* مسئول مکاتبه: [mortezaabakhtari@yahoo.com](mailto:mortezaabakhtari@yahoo.com)

هرچه ارتفاع سازه بیش تر می‌شود، عمق آبستگي کاهش می‌یابد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد آبستگي در سازه شاهد نفوذپذیر کم‌تر از تمامی حالات آزمایش‌های آب‌شکن باندا لایک بوده است. سایر نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهند با افزایش دبي، خط‌القعر به سمت میانه کانال منحرف می‌شود.

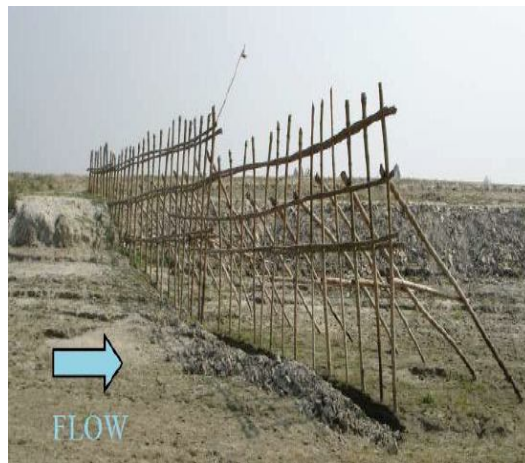
**نتیجه‌گیری:** بررسی کمی نتایج نیز نشان می‌دهد با تغییر ارتفاع سازه آب‌شکن باندا لایک از ۶/۵ سانتی‌متر به ۱۲ سانتی‌متر میزان عمق آبستگي در حدود ۵۴ درصد و میزان رسوبگذاری حدود ۳۴ درصد کاهش یافته است. همچنین استفاده از آب‌شکن معمولی نفوذپذیر به جای آب‌شکن باندا لایک با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر میزان عمق آبستگي ۲۳/۵ درصد کاهش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** اصلاح الگوی جریان، تغییرات رقوم بستر، قوس ۹۰ درجه، آب‌شکن باندا لایک، آب‌شکن نفوذناپذیر

### مقدمه

رودخانه‌ها به‌عنوان مجاری طبیعی جمع‌آوری و انتقال بارش جوی، از دیر باز به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین منابع تأمین آب مورد توجه انسان بوده‌اند. تمدن‌های بزرگ بشری برای بهره‌گیری از نعمت آب در حاشیه رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند. سکونت در کنار رودخانه‌ها در کنار محاسن و فواید بسیار خود معایب و خطراتی نیز در بر داشته است. انسان‌ها به تجربه دریافته‌اند که طغیان در مواقع سیلابی می‌تواند عامل ایجاد خرابی جریان‌ناپذیر شود، بنابراین به فکر ایجاد تمهیداتی برای مهار سیلاب شدند. در مواردی هم دیده می‌شد که با تغییر مسیر جریان می‌توان زمین‌های زیادی را زیر کشت برد و به بهره‌وری رساند. یکی از موارد مهم این کنترل، حفاظت سواحل رودها در مقابل فرسایش است. مکانیزم شکست و تخریب دیواره‌ها نه تنها بستگی به نوع و شدت فرسایش دارد، بلکه به ویژگی‌های دیواره مانند شکل سازه و ویژگی‌های مکانیکی مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها نیز وابسته است. سازه باندا لایک نوع جدید از

آب‌شکن است که به‌صورت ترکیبی از یک آب‌شکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر می‌باشد. مطالعات آزمایشگاهی و میدانی اندکی که تاکنون پیرامون این سازه انجام شده است، نشان می‌دهد که می‌تواند جانشین مناسبی برای انواع متداول آب‌شکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر باشد. این سازه یک نوع از سازه‌های محلی هستند که در شبه‌قاره هند برای بهبود یا ثابت نگهداشتن عمق جریان به‌منظور کشتیرانی در خلال فصل کم‌آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. باندا لایک‌ها معمولاً با زاویه ۴۰ درجه نسبت به مسیر اصلی جریان ساخته می‌شوند و با انتقال جریان‌های فرسایشی به دور از ساحل رودخانه و هدایت جریان در مسیر دلخواه امکان حفاظت غیرمستقیم را فراهم می‌آورند. این سازه‌ها به‌طور طبیعی از مواد قابل دسترس مانند بامبو و قطعه‌های چوب ساخته می‌شوند، بدین جهت یک روش ارزان‌قیمت محسوب می‌شود. در شکل ۱ نمایی از سازه آب‌شکن نوع باندا لایک نشان داده شده است.



شکل ۱- سازه باندا لایک در رودخانه جامونا در بنگلادش (تراگوچی و همکاران، ۲۰۱۰).

Figure 1. Bandal Like structure Jamvna river in Bangladesh (Teraguchi et al., 2010).

در زمینه الگوی فرسایش و رسوبگذاری در اطراف آبشکن مستغرق پژوهش‌هایی انجام شده است از جمله پژوهش مشکورنیا و همکاران (۱۳۸۹) بوده که ایشان تأثیر طول سازه آبشکن مستغرق را بر میزان آبشستگی ساحل خارجی در قوس ۹۰ درجه مورد بررسی قرار دادند. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش عدد فرود میزان آبشستگی نیز افزایش می‌یابد و بیش‌ترین عمق آبشستگی نیز در حوالی راس قوس رخ می‌دهد (۶). الوادی و همکاران (۲۰۰۱)، به بررسی رفتار جریان در اطراف آبشکن مستغرق در یک بستر ثابت پرداختند. نتایج آزمایش‌ها آن‌ها نشان داد که الگوی جریان در اطراف آبشکن کاملاً مستغرق و غیرمستغرق متفاوت می‌باشد. بدین‌ترتیب استفاده از آبشکن با ارتفاع‌های مختلف تأثیر به‌سزایی در رفتار جریان در کانال خواهد گذاشت (۲). کشاورزی و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی جریان در اطراف آبشکن مستغرق در یک کانال مرکب پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اندازه حرکت و انرژی جنبشی در دو جهت کاهش می‌یابد و خطوط جریان از دیواره‌ها به کانال اصلی انحراف می‌یابند (۵). آذین‌فر و کلز (۲۰۰۷)، در پژوهشی به پیش‌بینی پدیده برگشت آب در اثر انسداد

اکثر پژوهش‌های صورت گرفته بر آبشکن در رابطه با الگوی فرسایش و رسوبگذاری مخصوصاً بیشینه عمق آبشستگی در اطراف آبشکن نفوذناپذیر غیرمستغرق می‌باشد که از آن جمله می‌توان به منابع با ارزشی از جمله فضلی و همکاران (۱۳۸۸) تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه در شرایط مختلف جریان بررسی کردند. آزمایش‌ها در فلوم قوسی ۹۰ درجه به عرض ۶۰ سانتی‌متر و انحنای نسبی (R/B) برابر ۴ و برای سه حالت  $\left(\frac{U}{U_c} < 1\right)$ ،  $\left(1.24 < \frac{U}{U_c} < 1.33\right)$ ،  $\left(1 < \frac{U}{U_c} < 1.1\right)$  سرعت جریان ورودی و  $U_c$  سرعت بحرانی جریان برای حرکت رسوب در مسیر مستقیم) انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که نسبت  $U/U_c$  اثر بسیار مهمی بر چگونگی توپوگرافی بستر در حالت تعادل دارد. در حالت  $1.24 < U/U_c < 1.33$  دو چاله فرسایشی در جداره خارجی قوس تشکیل می‌شود. در حالت  $U/U_c < 1$  فقط یک چاله فرسایشی در نزدیکی خروجی قوس به‌وجود می‌آید و در حالت  $1 < U/U_c < 1.1$  دو چاله فرسایشی در جداره خارجی نزدیک یکدیگر یا در حالت ادغام شده تشکیل می‌شوند (۴).

انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که این سازه در مقایسه با آبشکن‌های نفوذناپذیر چاله آبستگي کوچک‌تری را ایجاد می‌کند. همچنین به دلیل این‌که بخش پایینی سازه نفوذپذیر است رسوبات معلق از این بخش عبور کرده و در پایین دست سازه ته‌نشست می‌شوند. همچنین اثر قسمت بالایی سازه باندا لایک که جریان را به مسیر اصلی هدایت می‌کند بر افزایش عمق به منظور بهبود کشتیرانی و تثبیت مسیر رودخانه به اثبات رسید. از این رو این سازه در رودخانه‌های آبرفتی می‌تواند کارایی خوبی در جهت حفاظت از سواحل و بستر رودخانه داشته باشد (۹ و ۱۰).

بررسی‌ها نشان می‌دهد عمده مطالعاتی که تاکنون در زمینه سازه باندا لایک انجام شده است در مسیر مستقیم و در شرایط غیرمستغرق انجام شده است، بدین ترتیب هدف از این مطالعه بررسی اثر استغراق سازه باندا لایک در قوس ۹۰ درجه ملایم و در شرایط مستغرق می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

پنج عامل اصلی هندسه سیستم، مشخصات سازه‌ها، خصوصیات جریان، خصوصیات سیال و خصوصیات رسوب عوامل اصلی حاکم بر پژوهش حاضر می‌باشند:

- متغیرهای مربوط به هندسه سیستم

شیب طولی فلوم  $S_b$ ، عرض فلوم  $B$ ، شعاع قوس فلوم  $R$ ، زاویه مرکزی قوس  $\delta$ ، متغیرهای مربوط به سازه‌ها، طول مؤثر صفحات متصل به ساحل  $L_e$ ، فاصله بین صفحات متصل به ساحل  $\lambda$ ، زاویه موقعیت استقرار صفحات متصل به ساحل نسبت به ابتدای قوس  $\theta$ ، زاویه صفحات متصل به ساحل نسبت به ساحل بیرونی بالادست  $\alpha$ ، ارتفاع صفحات متصل به ساحل  $h$ ، عرض تیغه افقی  $b_f$ ، عمق کارگذاری تیغه افقی از سطح رسوبات بستر  $Z_f$ .

با آبشکن مستغرق در کانال روباز پرداختند و در نهایت روابطی جهت پیش‌بینی اثر برگشت آب به دلیل وجود آبشکن مستغرق ارائه دادند (۱). در خصوص سازه باندا لایک تاکنون مطالعات محدودی در زمینه تأثیر این سازه بر الگوی جریان و توپوگرافی بستر انجام شده است از جمله مطالعات رحمان و همکاران (۲۰۰۴ و ۲۰۰۶) پژوهش‌های میدانی در خصوص آبستگي و انتقال رسوبات در اطراف این سازه را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها همچنین نتایج پژوهش‌های میدانی خود را با نتایج آزمایشگاهی صحت‌سنجی کردند. نتایج این صحت‌سنجی نشان داد که تطابق خوبی بین مشاهدات میدانی و نتایج آزمایشگاهی وجود دارد. همچنین تجزیه تحلیل اطلاعات میدانی و پژوهش‌های آزمایشگاهی آن‌ها نشان داد که الگوی جریان در اطراف سازه باندا لایک در مقایسه با آبشکن‌های نفوذناپذیر متفاوت است (۷ و ۸).

ژانگ و همکاران (۲۰۱۰) به مطالعه جریان سه‌بعدی در اطراف سازه باندا لایک به روش‌های صحرایی، عددی و آزمایشگاهی پرداختند. عملیات صحرایی به کمک پروفایلر سرعت در رودخانه براهماپترا- جامونا در بنگلادش انجام شد. آزمایش‌های این پژوهش نیز در آزمایشگاه یوجیگاوا در دانشگاه کویوتو انجام شد. همچنین مدل عددی سه‌بعدی ساخته شد و برای شبیه‌سازی میدان جریان، تحت شرایط هیدرولیکی مشابه شرایط آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت مشاهده شد که نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی به خوبی مطابقت دارد (۱۱). تراگوچی و همکاران (۲۰۱۰، ۲۰۱۱) به صورت آزمایشگاهی به بررسی الگوی جریان و رسوب پیرامون سازه باندا لایک در دو حالت مستغرق و غیرمستغرق پرداختند. آزمایش‌ها در یک فلوم به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۸ متر و شیب ۱/۸۰۰

• متغیرهای مربوط به جریان

سرعت متوسط جریان در بازه مستقیم بالادست قوس  $U$ ، عمق جریان در بازه مستقیم بالادست قوس  $y$ ، شتاب ثقل  $g$ ، عدد فرود جریان  $Fr$ ، متغیرهای مربوط به سیال، چگالی سیال  $\rho$ ، ضریب لزجت دینامیکی  $\mu$ .

• متغیرهای مربوط به رسوبات

قطر متوسط ذرات رسوبی  $d_{50}$ ، چگالی رسوبات  $G_s$ ، انحراف معیار رسوبات  $\sigma$ ، عمق آبستگی  $d_s$ .

$$d_s = \left( S_b, B, R, \delta, L_s, \lambda, \theta, \alpha, h, b_f, Z_f, U, y, g, \rho, \mu, d_{50}, G_s, \sigma \right) \quad (1)$$

با استفاده از تئوری  $\pi$  باکینگهام و در نظر گرفتن متغیرهای  $U$ ،  $y$ ،  $\rho$  به عنوان متغیرهای تکراری، با داشتن ۱۹ متغیر در نهایت ۱۶ پارامتر بی بعد زیر به دست می آیند:

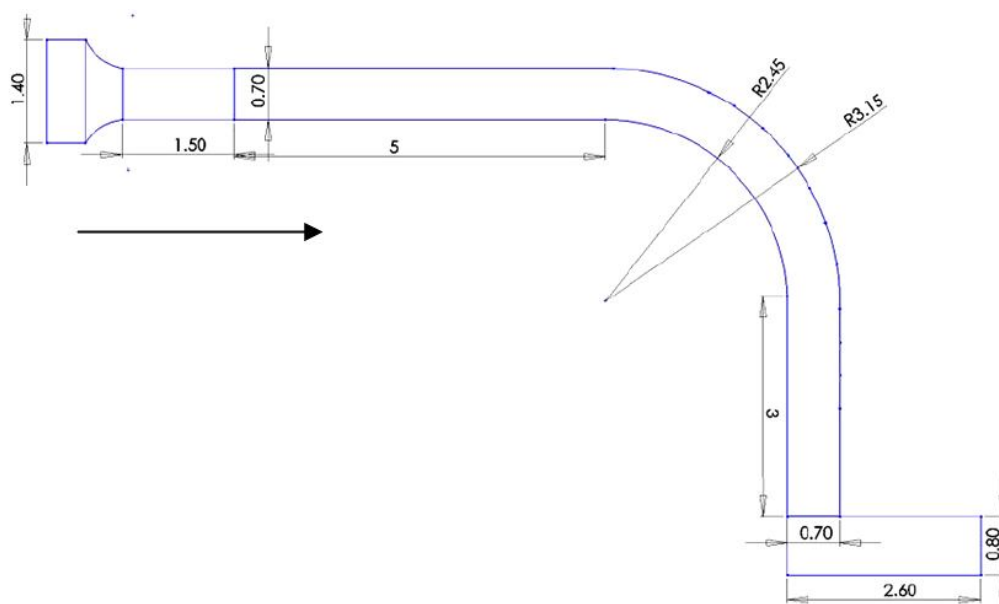
$$d_s = f \left( S_b, \delta, \theta, \alpha, G_s, \sigma, \frac{B}{y'}, \frac{R}{y'}, Fr, \frac{\lambda}{y'}, \frac{h}{y'}, \frac{b_f}{y'}, \frac{Z_f}{y'}, \frac{U}{\sqrt{gy'}}, \frac{\rho U y}{\mu}, \frac{d_{50}}{y} \right) \quad (2)$$

آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز در فلوم شیشه‌ای قوسی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه و با عرض ۷۰ سانتی‌متر و نسبت شعاع قوس به عرض آن  $(R/B)$  برابر ۴ انجام گرفته است. طول کانال مستقیم در بالادست قوس ۵ متر و در پایین دست قوس ۳ متر است. به منظور تنظیم عمق جریان از دریچه کشویی که در انتهای فلوم قرار دارد استفاده شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری دبی جریان،

دبی سنج آلتراسونیک مورد استفاده قرار گرفت. نمایی از فلوم استفاده شده در این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است. در این پژوهش تعداد نه سازه به صورت سری درون فلوم جایگذاری شد. رسوبات بستر از ماسه طبیعی با اندازه متوسط  $(D_{50})$  ۱/۵

$$\sigma = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}}$$

میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد ۱/۲۲ انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت ۲۲ سانتی‌متر در کف فلوم گسترانیده شد. در این پژوهش به منظور انتخاب پارامترهای مورد نظر از معتبرترین استاندارد موجود در طراحی آبشکن‌ها (FHWA) استفاده شده است. بر اساس این استاندارد طول آبشکن به صورت تابعی از عرض فلوم و به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد در نظر گرفته شده است. همچنین فاصله میان آبشکن‌ها به صورت تابعی از طول آبشکن منظور می‌گردد بنابراین در پژوهش حاضر با نظر گرفتن طولی معادل ۲۰ درصد عرض فلوم، طول سازه‌ها ۱۴ سانتی‌متر (معادل ۲۰ درصد عرض فلوم) و فاصله آن‌ها ۴ برابر طول مؤثر سازه انتخاب شد. در تمام آزمایش‌ها، اولین آبشکن نفوذناپذیر است و با زاویه ۱۳۵ درجه از بالادست جایگذاری شده و در واقع نقش آبشکن محافظ را ایفا می‌کند. زیرا در قوس رودخانه‌ها دماغه اولین آبشکن معمولاً تحت آبستگی شدید قرار می‌گیرد که در نهایت منجر به صدمه دیدن و یا تخریب آن می‌شود. سازه‌های باندال لایک با زاویه ۹۰ درجه در فلوم جایگذاری شدند. طرح شماتیک از فلوم آزمایشگاهی در شکل ۲ و چگونگی جانمایی آبشکن محافظ و آبشکن‌های باندال لایک در فلوم قوسی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- شکل شماتیک فلوم آزمایشگاهی.  
Figure 2. Schematic of experimental flume.



شکل ۳- لایوت سازه‌ها در فلوم.  
Figure 3. Locating structures in flume.

می‌باشد. متغیرهای مورد نظر در این سری آزمایش‌ها در آبشکن نفوذناپذیر شامل عدد فرود و زاویه آبشکن می‌باشند. دامنه قرائت‌های انجام شده این آزمایش‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول عمق جریان در مسیر مستقیم بالادست،  $h_{oi}$  (cm)

به‌منظور دست یافتن به اهداف پژوهش دو سری الگوی آزمایش طرح گردید. آزمایش‌های بخش اول، شامل بررسی هیدرولیک جریان و وضعیت آبشستگی و رسوب‌گذاری آبشکن‌های ساده به‌صورت کاملاً نفوذپذیر و نفوذناپذیر به‌عنوان آزمایش‌های شاهد

آزمایش  $t(\text{hr})$ ، دبی جریان جهت انجام آزمایش  $Q_c \left( \frac{\text{lit}}{\text{s}} \right)$ ، عمق جریان ( $h_{\text{of}}$ ) در لحظه آستانه حرکت رسوبات در قسمت مستقیم کانال (approach) بوده است. در این بخش از پژوهش در مجموع ۱۲ آزمایش انجام شد که مشخصات سازه‌ها و الگوی کلی آزمایش‌ها در جدول ۳ و دامنه قرائت‌های صورت گرفته در جدول ۲، نشان داده شده است.

دبی جریان،  $Q \left( \frac{\text{lit}}{\text{s}} \right)$  عمق آبشستگی و  $h_{\text{cs}}(\text{mm})$  زمان انجام آزمایش‌ها بوده است. در آزمایش‌های بخش دوم، به بررسی تأثیر سازه آبشکن نوع باندا لایک بر روی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در قوس ۹۰ درجه پرداخته شده است. پارامترهای اندازه‌گیری شده برای این بخش از آزمایش‌ها شامل عمق آبشستگی ( $h_{\text{cs}}$ )، زمان انجام

جدول ۱- دامنه قرائت‌های صورت گرفته برای پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های بخش اول.

**Table 1. Range of parameters measured in the experiments carried out for the first part.**

حداکثر Maximum	حداقل Minimum	پارامترهای قرائت شده Read parameters
14	14	$h_{\text{oi}}(\text{cm})$
33	25	$Q \left( \frac{\text{lit}}{\text{s}} \right)$
64	-126	$h_{\text{cs}}(\text{mm})$
3	3	$t(\text{hr})$

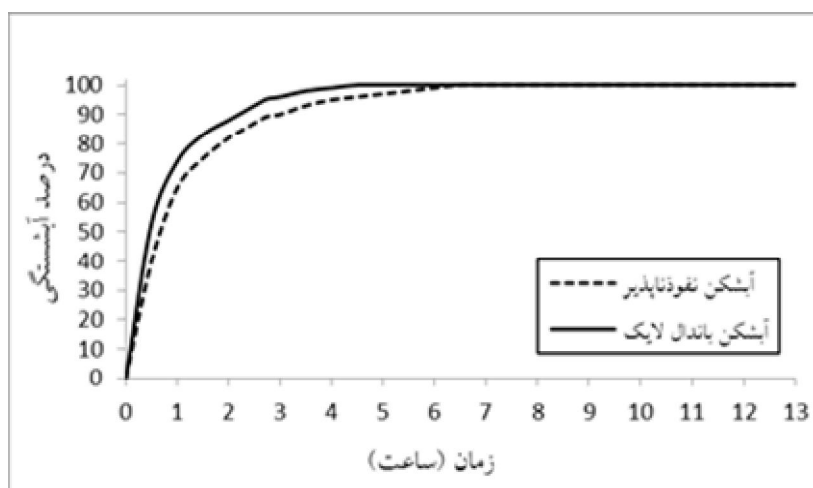
جدول ۲- دامنه قرائت‌های صورت گرفته برای پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های بخش دوم.

**Table 2. Range of parameters measured in the experiments carried out for the second part.**

حداکثر Maximum	حداقل Minimum	پارامترهای قرائت شده Read parameters
59	-65	$h_{\text{cs}}(\text{mm})$
3	3	$t(\text{hr})$
33	25	$Q_c \left( \frac{\text{lit}}{\text{s}} \right)$

سازه‌های باندا لایک متشکل از دو بخش نفوذپذیر و نفوذناپذیر می‌باشند که قسمت نفوذناپذیر از جنس پلکسی‌گلاس و قسمت نفوذپذیر از میله‌های آهنی به قطر ۴ میلی‌متر ساخته شده است و میزان نفوذپذیری این قسمت ۵۰ درصد سطح سازه می‌باشد. برای بهبود عملکرد این سازه، مرز بین قسمت نفوذپذیر و نفوذناپذیر به صورت یک صفحه با زاویه ۳۰ درجه (زاویه دفلیکتور) نسبت به محور عمودی قرار داده شده است که این موضوع در شکل ۴ نشان داده شده است. به منظور تأمین ۳ عمق استغراق، سازه‌ها با ۳ ارتفاع متفاوت ۶/۵، ۸/۵ و ۱۲ سانتی‌متر ساخته شدند. بدین ترتیب سازه‌ها با سه نسبت استغراق متفاوت (۲/۱۵، ۱/۶۵ و ۱/۱۶) و هر استغراق تحت ۴ عدد فرود متفاوت (۰/۲۱۸، ۰/۲۳۵، ۰/۲۶۱، ۰/۲۸۷) مورد آزمایش قرار گرفتند. در تمام آزمایش‌ها عمق جریان ۱۴ سانتی‌متر بوده است و در تمام آزمایش‌ها شرایط آب زلال حاکم بوده است و زمان انجام هر آزمایش ۳ ساعت در نظر گرفته شده است، که این زمان، زمان رسیدن به حالت تعادل می‌باشد. در شکل ۴ نمودار دستیابی به زمان تعادل در پژوهش حاضر نشان داده شده است.

سازه‌های باندا لایک متشکل از دو بخش نفوذپذیر و نفوذناپذیر می‌باشند که قسمت نفوذناپذیر از جنس پلکسی‌گلاس و قسمت نفوذپذیر از میله‌های آهنی به قطر ۴ میلی‌متر ساخته شده است و میزان نفوذپذیری این قسمت ۵۰ درصد سطح سازه می‌باشد. برای بهبود عملکرد این سازه، مرز بین قسمت نفوذپذیر و نفوذناپذیر به صورت یک صفحه با زاویه ۳۰ درجه (زاویه دفلیکتور) نسبت به محور عمودی قرار داده شده است که این موضوع در شکل ۴ نشان داده شده است. به منظور تأمین ۳ عمق استغراق، سازه‌ها با ۳ ارتفاع متفاوت ۶/۵، ۸/۵ و ۱۲ سانتی‌متر ساخته شدند. بدین ترتیب سازه‌ها با سه نسبت استغراق متفاوت (۲/۱۵، ۱/۶۵ و ۱/۱۶) و هر استغراق تحت ۴ عدد فرود متفاوت (۰/۲۱۸، ۰/۲۳۵، ۰/۲۶۱، ۰/۲۸۷) مورد آزمایش قرار گرفتند. در تمام آزمایش‌ها عمق جریان ۱۴ سانتی‌متر بوده است و در تمام آزمایش‌ها شرایط آب زلال حاکم بوده است و زمان انجام هر آزمایش ۳ ساعت در نظر گرفته شده است، که این زمان، زمان رسیدن به حالت تعادل می‌باشد. در شکل ۴ نمودار دستیابی به زمان تعادل در پژوهش حاضر نشان داده شده است.



شکل ۴- منحنی زمان تعادل.

Figure 4. Equilibrium time curve.

جدول ۳- الگوی کلی آزمایش‌های بخش دوم.

Table 3. The second part of the general pattern experiments.

اعداد فرود Frude number	دبی Water Drop (lit/s)	درصد نفوذپذیری permeability Percent	نسبت استغراق Submergence ratio (y/h)	عمق جریان (y) Flow depth (cm)	ارتفاع سازه (h) Structural height (cm)
		50%	2.15		6.5
0.22-0.235- 0.26-0.29	25-27-30-33	50%	1.65	14	8.5
		50%	1.16		12



درون فلوم به آرامی تخلیه شده به گونه‌ای که تغییری در توپوگرافی بستر به وجود نیاید. پس از تخلیه کامل آب فلوم با استفاده از دستگاه متر لیزری توپوگرافی بستر برداشت گردید. به منظور به دست آوردن زمان تعادل دو آزمایش با زمان ۲۴ ساعت، انجام پذیرفت. در نتیجه این آزمایش‌ها مشاهده شد که ۹۰ درصد جابه‌جایی رسوبات در ۱۸۰ دقیقه اول صورت پذیرفت، بدین منظور زمان انجام آزمایش‌ها همان ۱۸۰ دقیقه منظور گردید. در شکل ۵ تصاویری از آبشکن‌های باندا لایک مورد استفاده در پژوهش حاضر نشان داده شده است.

برای انجام هر آزمایش ابتدا آبشکن‌ها را در موقعیت موردنظر خود قرار داده و سپس سطح بستر را کاملاً صاف نموده و با استفاده از دستگاه متر لیزری توپوگرافی بستر برداشت شد تا پس از آزمایش بتوان مقادیر رسوبگذاری و فرسایش را به طور دقیق تعیین نمود. قبل از راه‌اندازی پمپ، دریچه انتهایی را بسته و آب به آرامی به داخل فلوم انتقال داده شد. در این آزمایش‌ها دبی به تدریج زیاد تا به دبی از پیش تعیین شده برسد. پس از رسیدن به دبی از پیش تعیین شده، دریچه انتهایی به تدریج بالا آورده شد تا عمق موردنظر در فلوم تأمین گردد. سپس آزمایش تا زمان رسیدن به حالت تعادل ادامه یافت. پس از اتمام آزمایش آب



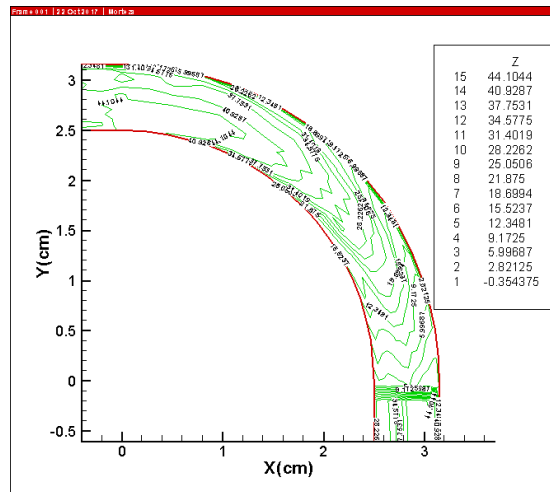
شکل ۵- آبشکن‌های مورد استفاده در این پژوهش.

Figure 5. Spur dikes using in this study.

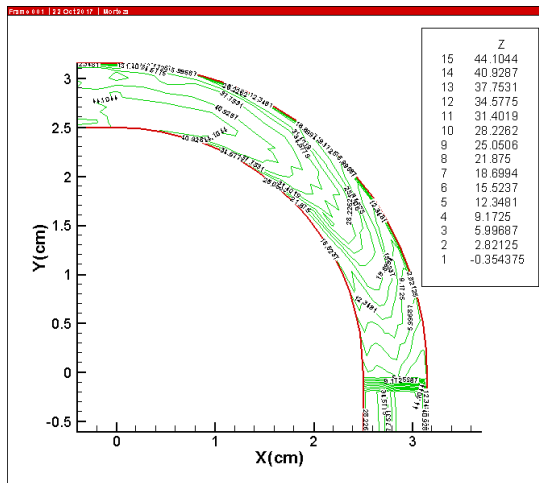
نتایج به دست آمده ارائه می‌شود. به صورت نمونه در شکل ۶ تأثیر قرارگیری سازه آبشکن ساده نفوذناپذیر، کاملاً نفوذپذیر و همچنین آبشکن باندا لایک در شرایط دبی ۲۵ لیتر در ثانیه بر توپوگرافی بستر نشان داده شده است.

### نتایج و بحث

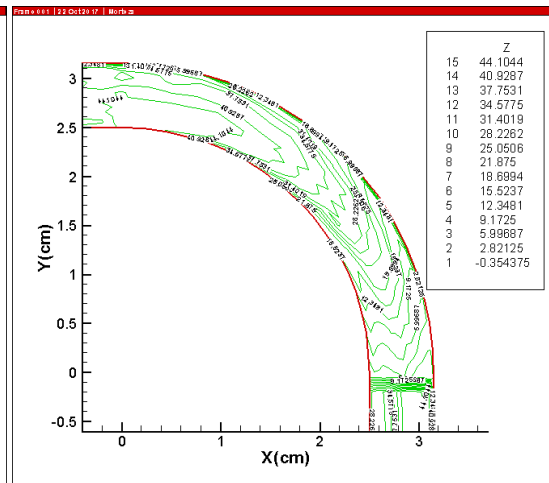
**آبستگي و رسوبگذاري:** همان‌گونه که بیان گردید هدف از پژوهش حاضر مقایسه تأثیر سازه‌های آبشکن ساده نفوذپذیر و نفوذناپذیر و سازه آبشکن نوع باندا لایک بر الگوی فرسایش و رسوبگذاری بستر در شرایط قوس ۹۰ درجه می‌باشد. که در این بخش



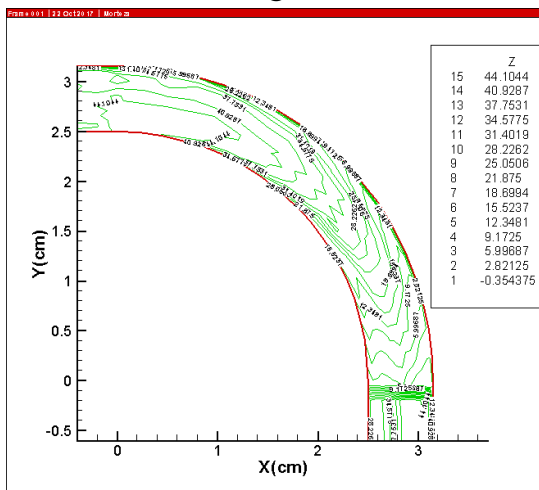
A (الف)



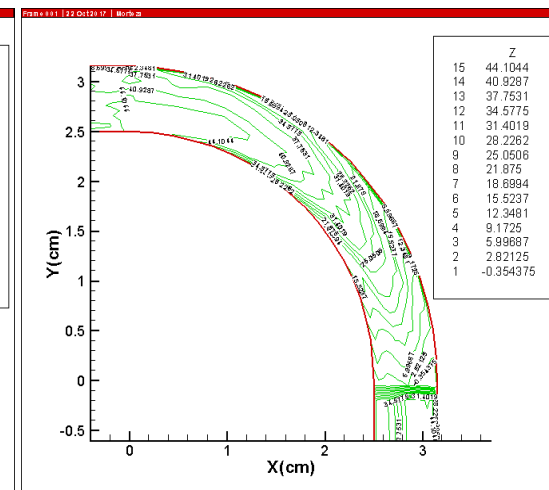
C (ج)



B (ب)



E (ه)



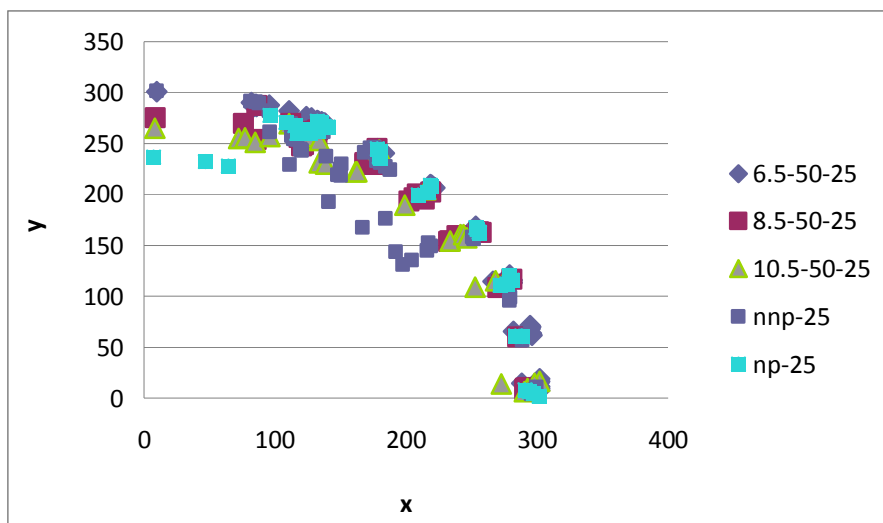
D (د)

شکل ۶- توپوگرافی بستر در شرایط دبی جریان ۲۵ لیتر در ثانیه (الف: شاهد نفوذناپذیر، ب: شاهد نفوذپذیر، ج: آبشکن باندا لایک ۱۲/۵ سانتی متری، د: آبشکن باندا لایک ۸/۵ سانتی متری، ه: آبشکن باندا لایک ۵/۶ سانتی متری).

Figure 6. Bed topography in terms of flow rate of 25 liters per second (A: non-permeable view, B: permeable view, C: Bandal breakwater Likes 5.6 cm, D: Bandal breakwater Likes 8.5 cm, E: Bandal breakwater Likes 12.5 cm).

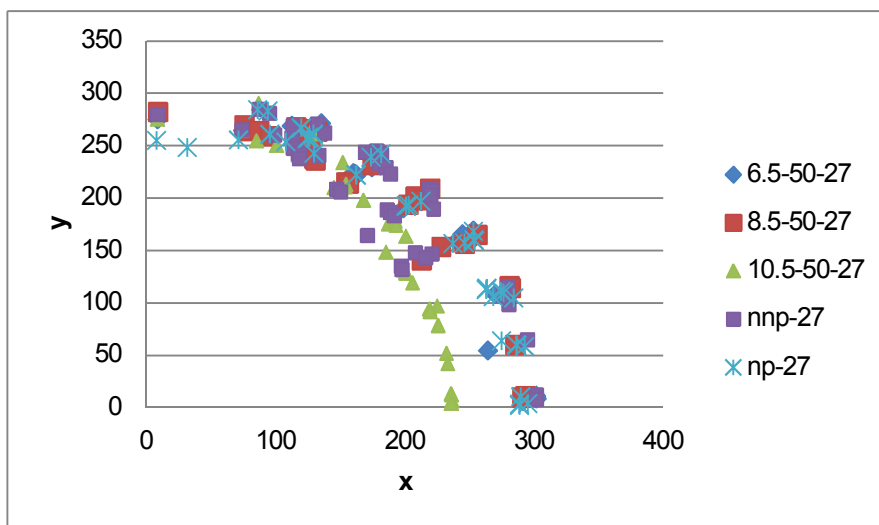
بررسی تأثیر قرارگیری آبشکن بر خط القعر: در بخش قبل وضعیت توپوگرافی بستر پس از در نظر گرفتن انواع مختلف آبشکن نشان داده شد. در این بخش تأثیر سازه‌های مذکور بر خط القعر ارائه می‌گردد. در این بخش تأثیر دبی جریان و همچنین نوع آبشکن بر وضعیت خط القعر، مورد بررسی قرار گرفته است. شکل‌های ۷ تا ۱۰ وضعیت خط القعر بستر در شرایط دبی‌های ثابت و برای آبشکن‌های مختلف نشان داده شده است. در تصاویر در راهنمای شکل‌ها زیر عدد اول ارتفاع سازه عدد دوم درصد نفوذپذیری و عدد سوم دبی می‌باشد همچنین منظور از نماد nnp آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد.

بررسی توپوگرافی بستر در شرایط اعمال آبشکن‌های مختلف در شکل ۶ نشان می‌دهد، در تمامی حالات مورد آزمایش، به دلیل ورود جریان به ابتدای قوس، سازه آبشکن اولیه در ابتدای مسیر قرار داده شده است بنابراین جریان آب با برخورد به سازه نگهبان باعث آبستنگی چشم‌گیری در پای این سازه شده و با منحرف شدن جریان به ساحل داخلی و در نتیجه رسوبات بعد از جابه‌جایی در محدوده اولین سازه رسوب‌گذاری می‌شوند. همچنین مشاهده می‌شود که بیش‌ترین آبستنگی‌ها در پای سازه‌ها می‌باشد که در قوس خارجی قرار دارند. همچنین با نزدیک شدن به انتهای قوس میزان عمق آبستنگی نیز افزایش می‌یابد.



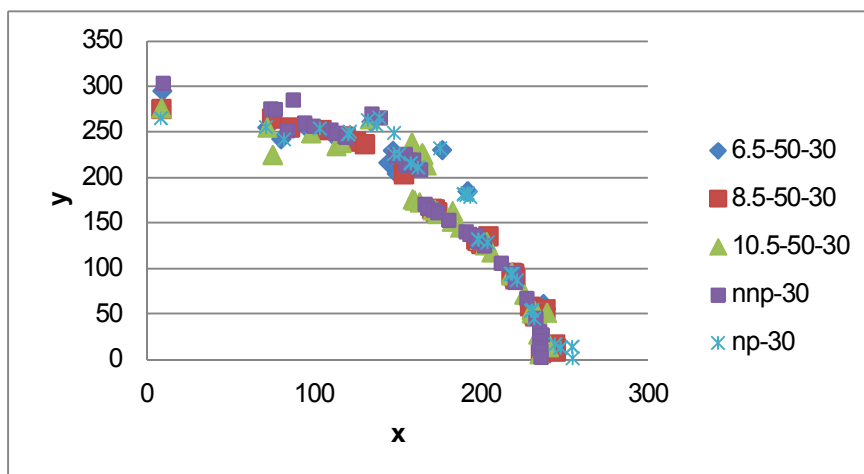
شکل ۷- وضعیت خط القعر برای آبشکن‌های مختلف در دبی ۲۵ لیتر در ثانیه.

Figure 7. Bottom line situation in 25 liters per second.



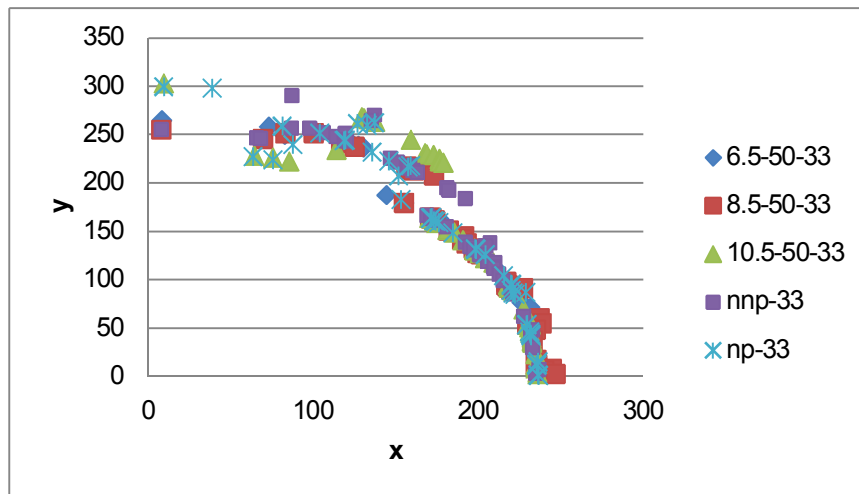
شکل ۸- وضعیت خط‌القعر برای آبشکن‌های مختلف در دبی ۲۷ لیتر در ثانیه.

Figure 8. Bottom line situation in 27 liters per second.



شکل ۹- وضعیت خط‌القعر برای آبشکن‌های مختلف در دبی ۳۰ لیتر در ثانیه.

Figure 9. Bottom line situation in 30 liters per second.

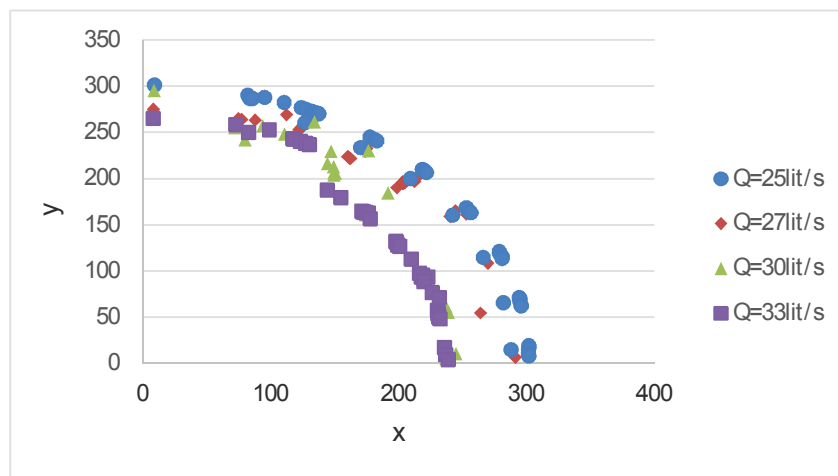


شکل ۱۰- وضعیت خط القعر برای آبشکن‌های مختلف در دبی ۳۳ لیتر در ثانیه.

Figure 10. Bottom line situation in 33 liters per second.

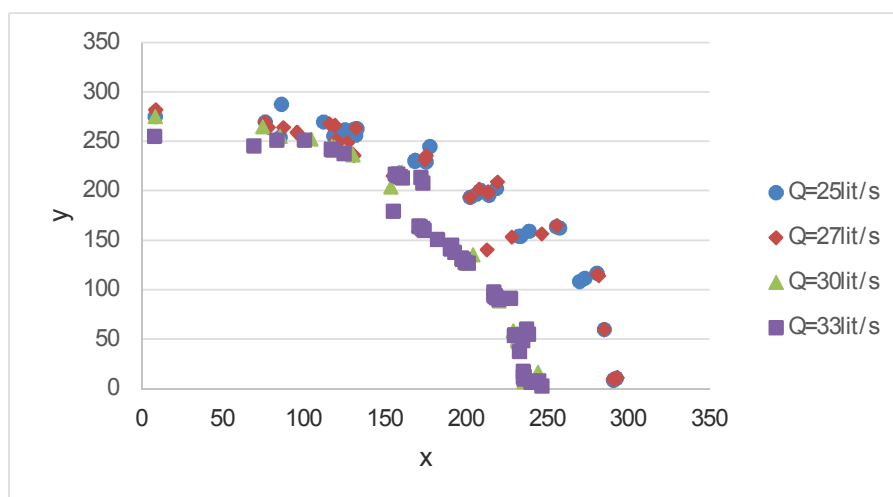
دبی‌های مختلف وضعیت خط القعر مورد بررسی قرار گرفته است.

در شکل‌های ۱۱ تا ۱۵ برای هر نوع آبشکن مورد آزمایش در پژوهش حاضر به صورت جداگانه و در



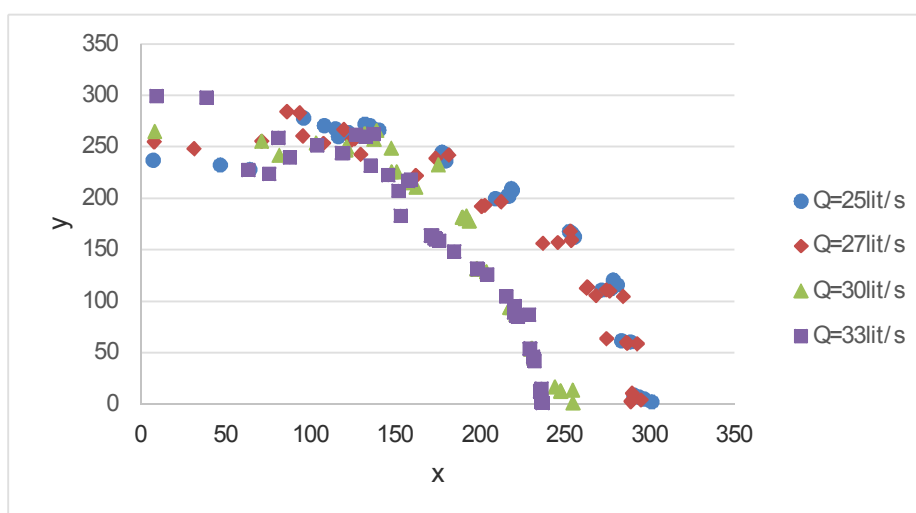
شکل ۱۱- خط القعر بستر در شرایط آبشکن باندال لایک به ارتفاع ۶/۵ سانتی‌متر.

Figure 11. Bottom line of the bed at a height of 5.6 cm breakwater Bandal Likes.



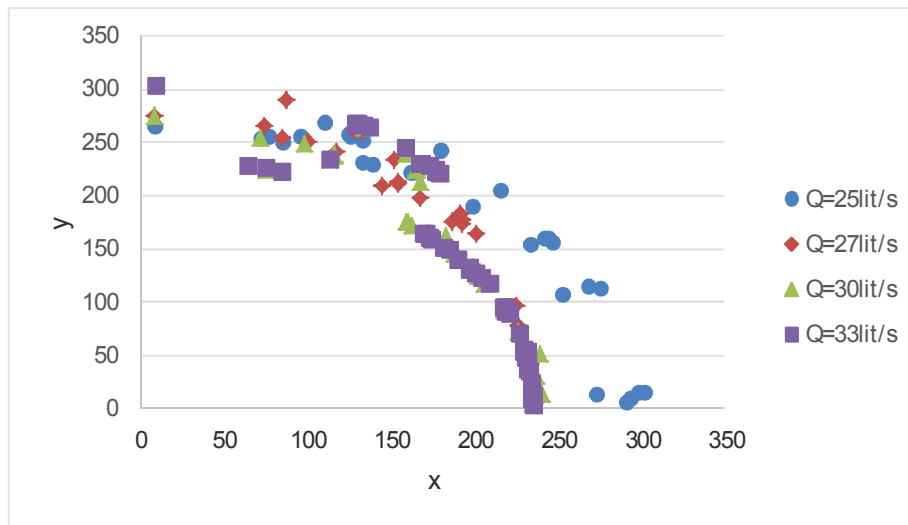
شکل ۱۲- خط‌القعر بستر در شرایط آبشکن باندا لایک به ارتفاع ۸/۵ سانتی‌متر.

Figure 12. Bottom line of the bed at a height of 8.5 cm breakwater Bandal Likes.

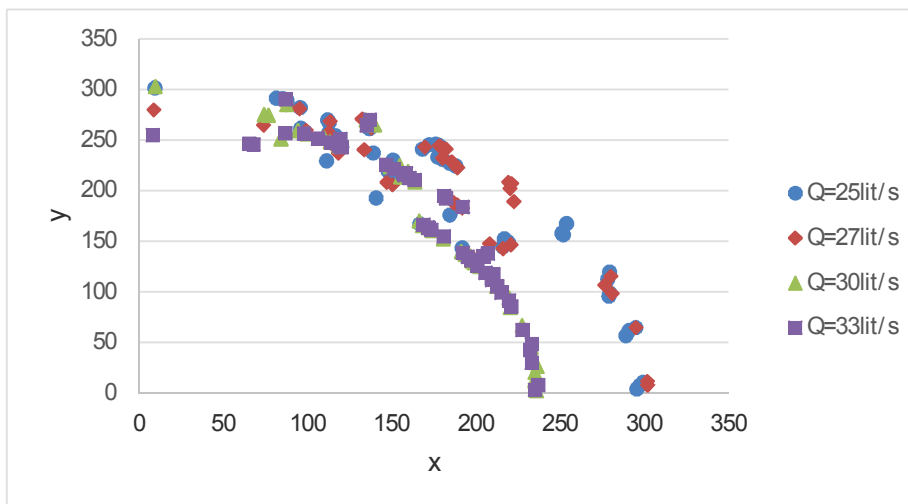


شکل ۱۳- خط‌القعر بستر در شرایط آبشکن نفوذپذیر.

Figure 13. Bottom line of bed in permeable breakwater.



شکل ۱۴- خط القعر بستر در شرایط آبشکن باندا لایک به ارتفاع ۱۰/۵ سانتی متر.  
**Figure 14. Bottom line of the bed at a height of 10.5 cm breakwater Bandal Likes.**



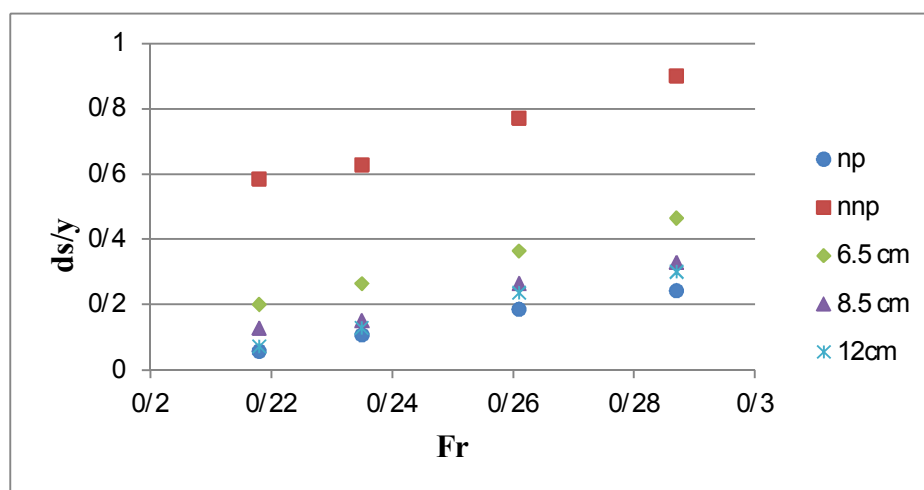
شکل ۱۵- خط القعر بستر در شرایط آبشکن نفوذناپذیر.  
**Figure 15. Bottom line of bed in non-permeable breakwater.**

مجدداً مانند سایر آبشکن‌ها به قوس خارجی منتقل می‌شود. با افزایش دبی (۳۰ و ۳۳ لیتر در ثانیه) شرایط رخ داده برای حداکثر آبشستگی اندکی متفاوت می‌شود. در این حالت طول فلوم به دو بخش تقسیم شده است. روند به‌دست آمده برای بخش اول که تا میانه فلوم ادامه دارد به این صورت است که بیش‌ترین میزان آبشستگی نزدیک قوس خارجی اتفاق افتاده است در حالی که از میانه قوس به بعد خط القعر به

نتایج به‌دست آمده برای دبی‌های مورد آزمایش دو نوع رویکرد را نشان می‌دهد و به این صورت می‌باشد که برای دبی‌های کم‌تر (۲۵ و ۲۷ لیتر در ثانیه) برای آبشکن‌های نوع باندا لایک و کاملاً نفوذپذیر بیش‌ترین میزان آبشستگی در قوس خارجی رخ داده ولی در این دبی‌ها برای آبشکن‌های نفوذناپذیر در ابتدای مسیر بیش‌ترین میزان آبشستگی به سمت میانه منتقل شده ولی در ادامه مسیر حداکثر آبشستگی

گرفته، عمق آبشستگی نسبی در مقابل عدد فرود جریان ترسیم گردید (شکل ۱۶).

میان‌ه کانال منتقل می‌شود. به‌منظور بررسی نتایج به‌دست آمده و مطابقت با شرایط رخ داده برای هیدرولیک جریان در شرایط آزمایش‌های صورت



شکل ۱۶- تغییرات عمق آبشستگی نسبی با عدد فرود جریان.

Figure 16. Changes relative scour depth with Froude number.

الف: با افزایش عدد فرود آبشستگی افزایش می‌یابد.  
 ب: با افزایش ارتفاع سازه (کاهش استغراق)، آبشستگی کاهش می‌یابد.  
 ج: با افزایش ارتفاع سازه (کاهش استغراق)، رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد.  
 د: بیش‌ترین آبشستگی مربوط به آزمایش شاهد نفوذناپذیر می‌باشد.  
 ه: کم‌ترین آبشستگی در آزمایش شاهد نفوذپذیر رخ داده است.  
 و: کم‌ترین آبشستگی در آزمایش باندا لایک با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متری رخ داده است.  
 ز: از میان سازه‌های باندا لایک بیش‌ترین آبشستگی مربوط به سازه با ارتفاع ۶/۵ سانتی‌متر می‌باشد، با افزایش ارتفاع سازه به ۸/۵ سانتی‌متر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. کم‌ترین عمق آبشستگی در این بخش آزمایش‌های مربوط به سازه با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد.

بررسی نتایج فوق نشان می‌دهد با افزایش عدد فرود جریان عمق آبشستگی نسبی افزایش یافته است. در تمامی آزمایش‌ها افزایش نسبت استغراق سبب افزایش تنش برشی بستر و فشار دینامیکی که تابعی از سرعت جریان است می‌باشد. در نتیجه با افزایش نسبت استغراق سرعت جریان نیز افزایش می‌یابد. همچنین افزایش استغراق سازه باعث افزایش فشار آب در بالادست سازه نیز می‌شود. در شرایط مستغرق، جریان سرریزشونده سبب افزایش سطح یا ارتفاع آب شده و سبب ایجاد جریان پایین‌رونده و یا ورتکس عمودی در پایین‌دست سازه می‌شود. بدین‌ترتیب افزایش استغراق سازه منجر به افزایش عمق آبشستگی در پایین‌دست سازه می‌شود در نتیجه سازه نیازمند محافظت بیش‌تر می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:



آبشستگی کاهش می‌یابد. آبشستگی در سازه شاهد نفوذپذیر کم‌تر از تمامی حالات آزمایش‌های آب‌شکن باندا لایک می‌باشد. اما ارتفاع بیش‌ترین رسوبگذاری در سازه‌های باندا لایک بیش‌تر از سازه شاهد نفوذپذیر و کم‌تر از سازه شاهد نفوذناپذیر هستند.

### سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر و دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت ایجاد شرایط انجام پژوهش حاضر، سپاسگزاری می‌نمایند.

ح: بیش‌ترین ارتفاع رسوبگذاری مربوط به سازه شاهد نفوذناپذیر می‌باشد. در بین سازه‌های باندا لایک بیش‌ترین رسوبگذاری، در سازه با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر رخ داده است و بعد از آن سازه با ارتفاع ۸/۵ سانتی‌متر و در بین سازه‌های باندا لایک کم‌ترین رسوبگذاری در حضور سازه با ارتفاع ۶/۵ سانتی‌متر رخ داده است. همچنین کم‌ترین رسوبگذاری در میان تمامی حالات مربوط به سازه شاهد نفوذپذیر می‌باشد. ط: با مقایسه آزمایش‌های صورت‌گرفته مشخص می‌شود که عمق آبشستگی‌ها در حضور سازه باندا لایک نسبت به سازه شاهد نفوذناپذیر کاهش یافته است، که هرچه ارتفاع سازه بیش‌تر می‌شود، عمق

### منابع

1. Azinfar, H., and Kells, J.A. 2007. Backwater effect due to a single spur dike. *Can. J. Civil Engin.* 34: 1. 107-115.
2. Elawady, E., Michiue, M., and Hinokidani, O. 2001. Movable bed scours around submerged spur-dikes. *Ann. J. Hydr. Engin.* 45: 373-378.
3. Fazli, M., Ghodsiyan, M., and Salehi Neishabori, S.A.A. 1386. Evaluation scouring around closed spur dike at bend. 6<sup>th</sup> conference of Iran Hydraulic. Shahre Kord University. Pp: 25-33. (In Persian)
4. Fazli, M., Ghodsiyan, M., and Salehi Neishabori, S.A.A. 1388. The change of bed topography at 90 degree bend at difference conditions of current. *J. Tech. Engin. Modares.* 35: 123-144. (In Persian)
5. Keshavarzi, A.R., Valizadeh, M., and Ball, J. 2010. Experimental Study of the Effects of Submerged Dikes on the Energy and Momentum Coefficients in Compound Channel. *J. Sci. Res. Engin.* 2: 11. 855-862.
6. Mashkoornia, H., Jarah Zadeh, F., Ramesh, S., and Shafaie Bajestan, M. 1389. Evaluation the effect of submersible spur dike length on rate of scouring at outer bank at 90 degree bend. 9<sup>th</sup> conference of Iran Hydraulic. Tarbiyat Modares University. Pp: 31-39. (In Persian)
7. Rahman, M., Nakagawa, H., Khaleduzzaman, A., Ishigaki, T.M., and Muto, Y. 2004. On the formation of stable river course. *Annuals of Disaster Prevention Research Institute.* Kyoto University. Pp: 601-616.
8. Rahman, M., Nakagawa, H., Khaleduzzaman, A., Ishigaki, T.M., and Muto, Y. 2006. Prediction of local scour depth around Bandal-like structures. *Ann. J. Hydr. Engin. JSCE.* 50: 163-168.
9. Teraguchi, H., Nakagawa, H., Kawaike, K., Baba, Y., and Zhang, H. 2010. Morphological Changes induced by River Training Structures: Bandal-like structures and Groins. *Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University.* Pp: 505-518.
10. Teraguchi, H., Nakagawa, H., and Kawaike, K. 2011. Effects of hydraulic structures on river morphological processes. *Inter. J. Sed. Res.* Pp: 283-303.
11. Zhang, H., Nakagawa, H., Baba, Y., Kawaike, K., and Teraguchi, H. 2010. Three dimensional flow around bandal-like structures. *Ann. J. Hydr. Engin. JSCE.* 54: 175-180.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(1), 2018*

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

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

## **Experimental investigation the effect of submersible Bandal like and normal type of spur dike on bed elevation changes at 90 degree mild bend**

**M. Jalili<sup>1</sup>, \*M. Bakhtiari<sup>2</sup>, S.M. Kashefipour<sup>3</sup> and N. Shahni Karamzadeh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of River Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of River Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, <sup>3</sup>Professor, Dept. of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

Received: 06/02/2017; Accepted: 03/07/2018

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Rivers are source of any civilization formation and also any societies. As a result of many factors like human interferences, earthquake, flood and sand removing from river margins the dynamic balance of rivers changes. The consequences of these undesired phenomena's are erosion of river banks and lateral migration. On the other hand, these derbies could fill dam reservoirs. Decreasing useful life of dams and also producing operation difficulties are other two side effects of erosion. Hence bank erosion and lateral migration creates a lot of economic and social problems. Noticing above mentioned notes we conclude that investigation about hydraulic of rivers and also understanding dike hydraulic and characteristics is necessary and important. One of the common and simplest method of coastal protection is using spur dike that are useful structure to improve the flow pattern and used for control and reduce the coastal erosion of rivers. Bandal like is new type of spur dike that is compound from a submersible and no submersible spur dike.

**Materials and Methods:** In this research we focus on Bandal-like dikes. Explicitly we investigate the effect of dike submersion on erosion and sediment formation around a 90 degree mild bend. Experimental tests are performed under various hydraulic characteristics. Three types of dike are provided. Heights of dike are 6.5, 8.5 and 12 centimeters and the width of dike is 20 percent of flood width. Also three discharge 25, 27, 30 and 33 liters per second for two type (submersible and no submersible) of spur dikes were tested. In this study used a 90 degree bend flume with 0.7 m width.

**Results:** The result of this study show that the maximum of scouring rate, occur for submersible theme test and the minimum is for Bandal – like with 12cm height. Also the result show that depth of scouring with Bandal like spur is reduce than no submersible theme structure and with increased the height of structure depth of scouring will be reducing. The result show that with increased the discharge, the Thalweg divert to middle of canal.

**Conclusion:** The results of this study can be summarized as: The maximum of scouring is for theme non submersible test. The minimum of scouring is for Bandal like with 12 cm height. Between Bandal like spurs, the maximum of scouring is for structure with 6.5 cm height. Increasing the height of structure reduce the depth of scouring.

**Keywords:** Flow pattern remove, Bed elevetaion changes, 90 degree bend, Bandal-Like spur dike, Impermeable spur dike

---

\* Corresponding Author; Email: [mortezabakhtiari@yahoo.com](mailto:mortezabakhtiari@yahoo.com)