



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۲ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۱

صفحه‌های ۴۶۶-۴۵۵

DOI: 10.22059/jwim.2022.330202.970

مقاله پژوهشی:

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر زاویه آبشکن چوگانی بر آبشستگی و مقایسه آن با آبشکن ال شکل

سجاد باجلوند^۱، سعید گوهری^{۲*}، مجید حیدری^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران.

۲. استادیار سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران.

۳. استادیار سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۴/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷

چکیده

آبشکن‌ها سازه‌های عرضی هستند که از دیواره طبیعی رودخانه با طول مناسب و با زاویه مناسبی نسبت به راستای اصلی جریان ساخته می‌شوند. احداث این سازه‌ها سبب انحراف جریان از کناره‌ها و نواحی بحرانی شده و جریان را به سمت محور مرکزی رودخانه هدایت می‌نمایند. آبشکن‌های چوگانی به دلیل شکل خاص دماغه، می‌توانند سازه مناسبی در عملیات حفاظت از سواحل و ساماندهی رودخانه‌ها باشند. در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی زاویه آبشکن چوگانی بر آبشستگی و توپوگرافی بستر و مقایسه آن با آبشکن L شکل پرداخته شده است. آزمایش‌ها بر روی سری آبشکن‌های چوگانی و L شکل با سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه (نسبت به ساحل پایین دست کانال) درون فلومی با طول ۱۰/۵ متر، عرض و ارتفاع ۰/۵ متر در شرایط آب زلال انجام شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد پارامترهای حفره آبشستگی، طول و ضخامت پشته رسوبی با افزایش زاویه در آبشکن‌های چوگانی کم‌تر از L شکل می‌باشد. حداکثر عمق آبشستگی، میانگین مساحت و حجم آبشستگی با افزایش زاویه از ۳۰ به ۹۰ درجه به ترتیب در آبشکن‌های L شکل ۱/۴، ۴۱ و ۷۵/۵ درصد و در آبشکن‌های چوگانی ۳۳/۸، ۳۹ و ۷۳ درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین در پایین دست آبشکن چوگانی، در دیواره کانال آبشستگی صورت نگرفته که در تخریب آبشکن و حفاظت فرسایش دیواره رودخانه نسبت به آبشکن L شکل بهتر عمل می‌کند.

کلیدواژه‌ها: آبشکن چوگانی، آبشکن L شکل، آبشستگی، زاویه آبشکن، توپوگرافی بستر، مدل آزمایشگاهی.

Experimental study the effect of hockey spur dikes angle on scouring and comparing to L-shape spur dike

Sajjad Bajelvand¹, Saeed Gohari^{2*}, Majid Heydari³

1. M.Sc. Graduated student of Water Structure Engineering, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Water Structure Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Water Structure Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran.

Received: February 16, 2022

Accepted: July 19, 2022

Abstract

Spur dikes are river training structures that developed from the natural river banks with proper length and angle from the flow dominant direction, cause to divert the flow attack at the riverside and the critical regions and directs the flow to the river central axis. There are several researchers focused on the effect of the spur dikes angles on the flow pattern however there is not any study on hockey spur dikes angle on scouring patterns. In present study, the effects of the hockey spur dikes angle on scouring and the bed topography was carried out experimentally while the results were compared to those provided for L-shape. The experiments were conducted on a series of hockey spur dikes also the L-shape in three various angles equal to 30°, 60° and 90° (towards the downstream channel lateral walls) inside a laboratory flume in 10.5m length, 0.5 width and 0.5m height under the clear water conditions. The results revealed the scour hole parameters including the length and thickness of the sediment hill are lower in hockey spur dikes than the L-shape by increasing the spur dikes angle. Furthermore, the maximum scour depth, mean area and volume of scouring are increased by 41.4, 41 and 75.5 percent in hockey and by 33.8, 39 and 73 percent in L-shape through increasing the angle from 30° to 90°, respectively. Also, no scouring was taken place in the vicinity of the channel lateral walls downstream the hockey spur dikes, hence, those better act against the destruction also in protection of river beaches against the erosion, with respect to the L-shape.

Keywords: Bed Topography, Hockey Spur Dike, L-shape Spur Dike, Laboratory Model, Scour, Spur Dikes Angle.

مقدمه

یکی از روش‌های غیرمستقیم و معمول در کنترل فرسایش کناری و حفاظت کناره‌های رودخانه‌ها استفاده از اپی یا آبشکن می‌باشد. در این روش یک‌سری آبشکن به‌طور متوالی و زاویه‌دار با مسیر جریان رودخانه ساخته می‌شوند. این آبشکن‌ها از یک سمت به ساحل رودخانه متصل شده و تا مسافتی در داخل بستر رودخانه به جلو می‌آیند. این سازه‌ها بر خطوط جریان تأثیر گذاشته و باعث تغییر در الگوی جریان رودخانه و انحراف جریان از دیواره‌های فرسایش‌پذیر به وسط رودخانه شده و کناره‌ها را از خطر فرسایش محافظت می‌نمایند. با ایجاد ناحیه سکون در بین دو آبشکن و کاهش سرعت جریان از شدت برخورد آن با دیواره‌ها کاسته و در حقیقت قابلیت رسوب‌گذاری جریان را در ساحل رودخانه افزایش می‌دهند. آبشکن‌ها براساس تأثیری که بر روی جریان رودخانه دارند، ممکن است به آبشکن‌های جاذب یا دافع تقسیم‌بندی شوند. آبشکن‌های در جهت پایین‌دست (جاذب)، جریان را به سمت خود جذب می‌کنند و به‌منظور تأمین جریان آب عمیق و آبیگری از نزدیکی ساحل رودخانه ساخته می‌شوند. همچنین این آبشکن‌ها باعث انقباض کم‌تری در جریان شده و در نتیجه فرسایش کم‌تری نیز در دماغه خود ایجاد می‌کنند. به‌علاوه در این نوع آبشکن، ساحل مقابل از انحراف جریان حاصل از سازه، متاثر نمی‌شود. همچنین در آبشکن‌های دافع عمل به تله‌انداختن بار بستر در حد فاصل بین آبشکن‌ها و هدایت جریان به سمت مرکز آبراهه، بهتر صورت گرفته و در نتیجه از فرسایش دیواره نیز جلوگیری می‌شود. تاکنون پژوهش‌های بسیاری در مورد زاویه آبشکن‌ها بر الگوی آب‌شستگی انجام شده است، اما در مورد زاویه آبشکن چوگانی بر الگوی آب‌شستگی پژوهشی صورت نگرفته است. Zare & Honar (2015) آزمایش‌هایی بر روی سری

آبشکن‌های مستقیم، مستقر در یک فلوام آزمایشگاهی قوس‌دار، در زوایای مختلف تحت شرایط آب زلال انجام دادند. نتایج نشان داد که بیشینه عمق آب‌شستگی در پای آبشکن‌ها مربوط به آبشکن عمودی است و برای آبشکن‌های عمودی و دافع، در یک نسبت مشخص سرعت به سرعت بحرانی، همواره مساحت رسوب‌گذاری میان آبشکن‌های اول و دوم، بیش‌تر از آبشکن‌های دوم و سوم است. و برای آبشکن‌های جاذب، عکس روند فوق صادق است. Fazli et al. (2008) به بررسی میدان جریان سه‌بعدی و آب‌شستگی در اطراف آبشکن مستقیم در قوس ۹۰ درجه پرداختند. و حداکثر عمق آب‌شستگی را تابعی از عدد فرود، طول و موقعیت آبشکن در قوس دانستند. Kuhnle et al. (2002) به بررسی تأثیر سه زاویه ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه آبشکن نسبت به دیواره پایین‌دست کانال بر حجم حفره آب‌شستگی و حداقل فرسایش در ساحل رودخانه‌ها یک‌سری آزمایش انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که آبشکن‌های با زاویه ۴۵ درجه بیش‌ترین فرسایش در نزدیکی کانال را دارند، درحالی‌که آبشکن‌های ۱۳۵ درجه دارای حداکثر آب‌شستگی موضعی و حداقل پتانسیل فرسایش کناره کانال را دارند. Masjedi et al. (2010) به بررسی آزمایشگاهی اثر موقعیت آبشکن تی‌شکل (T) بر عمق آب‌شستگی در قوس ۱۸۰ درجه پرداختند. در این پژوهش با قراردادن آبشکن T شکل در فلوام آزمایشگاهی با موقعیت‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه پدیده آب‌شستگی حول آبشکن را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد حداکثر عمق آب‌شستگی در موقعیت ۷۵ درجه رخ می‌دهد. Nath & Misra (2017) آب‌شستگی موضعی حول یک آبشکن در سه زاویه ۶۰، ۸۰ و ۹۰ درجه با جهت جریان را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که عمق آب‌شستگی هنگامی‌که زاویه آبشکن ۶۰ درجه باشد حداقل و هنگامی‌که زاویه آبشکن ۹۰ درجه

پیدا کرد. Asgari & Nazari (2012) تأثیر آبشکن چوگانی بر مسیر قرارگیری خطالقع فرسایش در قوس رودخانه ۹۰ درجه را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که آبشکن چوگانی نسبت به آبشکن تیغه‌ای در دورکردن فرسایش از کناره خارجی قوس تأثیر مطلوب‌تری داشته است. Zhang *et al.* (2018) بر روی ویژگی‌های هندسی آبشستگی آبشکن تحت شرایط آب صاف بحث کردند. بررسی آن‌ها نشان داد که با نحوه قرارگیری آبشکن هندسه سطح حفزه آبشستگی تغییر می‌کند. Pandey *et al.* (2021) با مطالعه آبشکن‌ها در رسوبات چسبنده و استفاده از روش‌های آموزش ماشین هوشمند، نشان دادند که چسبندگی مصالح و زاویه ایستایی مخلوط رسوبات دو عامل مهم در میزان آبشستگی در دماغه آبشکن‌ها است. Özyaman *et al.* (2022) با مطالعه آبشستگی تک آبشکن در شرایط آب صاف میزان آبشستگی در رسوبات یکنواخت را ۴۰ درصد بیشتر از رسوبات غیریکنواخت به دست آوردند. با توجه به مطالعات صورت گرفته در خصوص زاویه آبشکن‌ها، در این مقاله به بررسی زاویه سری آبشکن چوگانی بر آبشستگی و رسوب‌گذاری و مقایسه آن با سری آبشکن L شکل پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش‌ها

مجموعه آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان در یک فلوم مستطیلی با طول ۱۰/۵ متر، عرض و ارتفاع ۰/۵ متر انجام شده است. ارتفاع فلوم از کف آزمایشگاه ۱/۳ متر و شیب کف بستر ۰/۰۰۱ تنظیم شد. جنس کف فلوم ورق گالوانیزه و دیواره‌ها از جنس شیشه می‌باشد.

باشد به حداکثر می‌رسد. Yazdi *et al.* (2010) الگوی جریان در اطراف یک آبشکن منفرد را توسط مدل عددی سه‌بعدی فلونت شبیه‌سازی کردند و بیان کردند که طول و عرض ناحیه چرخشی برای زاویه‌های مختلف قرارگیری آبشکن تقریباً ثابت است. Abbasi (2014) به بررسی تأثیر مشخصات هندسی آبشکن‌ها بر آبشستگی موضعی دماغه پرداختند. آبشکن‌های مورداستفاده در دو نوع سر سپری و سر کج با ۲۰ درصد و ۳۰ درصد تنگ شدگی کانال بوده و آزمایش‌ها را در چهار نسبت فاصله به طول در بستری با مصالح و شیب ثابت انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد، در آبشکن‌های سرکج نسبت فاصله به طول سه برابر و در آبشکن‌های سر سپری نسبت فاصله به طول چهار برابر می‌تواند به‌عنوان نسبت مناسب پیشنهاد شوند. همچنین سری آبشکن‌های سر سپری نسبت به سری آبشکن‌های سر کج حداکثر عمق آبشستگی کم‌تری دارند. Özyaman (2017) مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی موضعی پیرامون آبشکن‌ها با بستر رسوبات یکنواخت و غیر یکنواخت در سه زاویه ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه با جهت جریان را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که حجم و عمق آبشستگی و رسوب‌گذاری در آزمایش‌های انجام‌شده با رسوبات یکنواخت بیشتر از آزمایش‌های انجام‌شده با رسوبات غیر یکنواخت است و مشاهده شد برای رسوبات یکنواخت و غیر یکنواخت حداکثر حجم آبشستگی با آبشکن‌ها در زاویه ۴۵ درجه و حداقل حجم آبشستگی با آبشکن‌ها در زاویه ۱۳۵ درجه رخ می‌دهد. Yabarehpour & Kashefipour (2014) به بررسی آزمایشگاهی آبشستگی و رسوب‌گذاری اطراف سری آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش درصد نفوذپذیری، حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن اول به میزان ۷۵ درصد کاهش

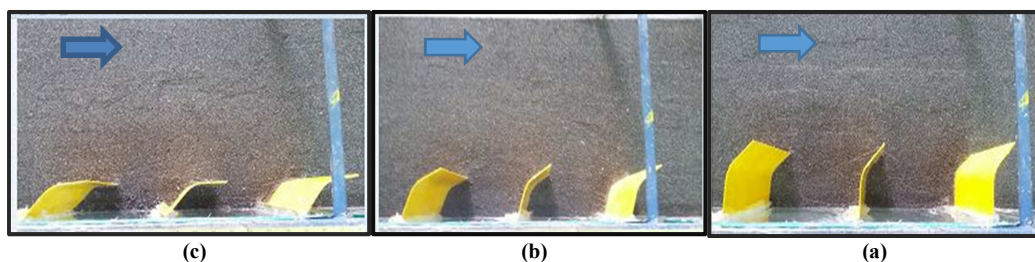


Figure 1. View of the hockey spur dike series in angles a) 90° b) 60° and c) 30°

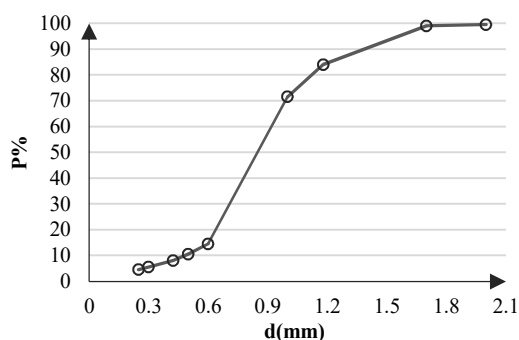


Figure 2. Sediment granulation curve

نحوه انجام هر آزمایش به این صورت بود که ابتدا سری آبشکن‌های موردنظر نصب شده و بعد از خشک‌شدن چسب آبشکن‌ها رسوبات موجود با استفاده از تسطیح‌کننده کاملاً تراز شده و دریچه کشویی انتهایی فلوم کاملاً بسته و آب زلال به آرامی از پایین‌دست به درون کانال هدایت شد. پس از آن که آب روی تمام رسوبات را گرفت، پمپ با دبی کم، روشن و جریان ورودی به آرامی وارد فلوم می‌شد تا سطح بستر رسوبی تا ارتفاع چند سانتی‌متر از آب پوشیده شود، سپس دریچه کشویی بتدریج باز شده تا این که دبی و عمق آب درون فلوم به مقدار موردنظر برسد. بعد از اتمام آزمایش، دریچه انتهایی بسته و پمپ خاموش می‌شد. یک زهکش در کف فلوم ایجاد شده بود تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شود و بر توپوگرافی بستر تأثیری نگذارد. پس از گذشت یک ساعت و تخلیه کامل آب از درون فلوم به وسیله متر لیزری، توپوگرافی بستر در محدوده آبشکن‌ها برداشت شده است.

آبشکن‌های مورد استفاده در این پژوهش نفوذناپذیر و غیر مستغرق از جنس ورق آهنی با ضخامت دو میلی‌متر، که با فاصله ثابت دو برابر طول آبشکن از یکدیگر در زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به ساحل پایین‌دست کانال نصب شده‌اند (شکل ۱). براساس پژوهش‌های Pardok (2002) در هر مقطع عرضی از بازه رودخانه، مجموع طول مؤثر آبشکن‌ها در دو سمت رودخانه در بیش‌ترین حالت باید معادل ۳۰ درصد عرض رودخانه در وضعیت طبیعی آن باشد. بنابراین طول آبشکن‌ها ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و بیشینه تنگ‌شدگی کانال در این حالت ۲۵ درصد می‌باشد. فاصله محل نصب اولین آبشکن تا ابتدای کانال ۴/۷۵ متر در نظر گرفته شد تا اغتشاش محتمل در ورودی کانال به محل آبشکن نرسد. همچنین به منظور مقایسه زوایای آبشکن چوگانی و ال شکل (L) برآب‌شستگی، آبشکن‌های L شکل با همان ابعاد در نظر گرفته شدند. در این پژوهش از مصالح یکنواخت ماسه طبیعی رودخانه‌ای با قطر متوسط ۰/۸۴ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ۱/۴ استفاده شد (شکل ۲). کف کانال به ارتفاع ۰/۱۵ متر و طول ۲/۵ متر توسط رسوبات پر شده است. ارتفاع رسوبات با توجه به آزمایش‌های اولیه و حداکثر عمق آب‌شستگی تعیین شده است. آزمایش‌ها در حالت آب صاف انجام گرفته است. سرعت متوسط جریان به سرعت بحرانی آستانه حرکت ذرات در حدود ۰/۹۵ انتخاب شده است.

آنالیز ابعادی

به منظور یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر آبشستگی در دماغه آبشکن‌های چوگانی و L شکل، تحلیل ابعادی روی پارامترهای مؤثر انجام شده است. عوامل مؤثر در این زمینه عبارتند از عرض کانال (B)، عرض کانال در مقطع آبشکن (B_1)، شیب طولی کانال (S_0)، طول آبشکن (L)، طول زبانه آبشکن (L_t)، زاویه آبشکن (θ)، سرعت متوسط جریان در مقطع قبل از آبشکن (u)، عمق جریان (h)، عمق آبشستگی در دماغه آبشکن (h_s)، شتاب ثقل (g)، قطر متوسط (d_{50})، چگالی ذرات (ρ_s)، انحراف معیار توزیع اندازه ذرات (σ_g)، جرم مخصوص سیال (ρ)، لزجت دینامیکی (μ) با استفاده از روش π -باکینگهام و با انتخاب پارامترهای تکراری رابطه زیر به دست می‌آید.

$$h_s = f_1(\mu, \rho, \theta, \rho_s, B_1, B, S_0, h, u, d_{50}, g, \sigma_g, L, L_t) \quad (1)$$

رابطه میان پارامترهای بی بعد به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{h_s}{h} = f_2\left(\frac{B_1}{h}, \frac{B}{h}, \frac{L_t}{h}, \frac{L}{h}, \frac{u}{\sqrt{gh}}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\rho u h}{\mu}, \theta, S_0, \frac{d_{50}}{h}\right) \quad (2)$$

با توجه به این که شیب کانال ثابت و مصالح مورد استفاده ماسه و یکنواخت می‌باشد. $\frac{\rho_s}{\rho}$ ، S_0 و d_{50} تابع فوق حذف می‌شوند. از طرفی با توجه به آشفتگی جریان می‌توان از پارامتر رینولدز (Re) نیز صرف نظر نمود. با توجه به ثابت بودن طول آبشکن‌ها ($\frac{L}{B}$) نیز حذف می‌شود و رابطه نهایی به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

$$\frac{h_s}{h}, \frac{h_s}{L} = f(\theta, Fr) \quad (3)$$

نتایج و بحث

با افزایش زاویه آبشکن نسبت به ساحل پایین دست کانال از ۳۰ به ۶۰ درجه و از ۶۰ به ۹۰ درجه طول تصویر شده آبشکن بر جریان بیش تر شده، میزان انقباض مقطع جریان

بیش تر شده و آبشکن‌ها خطوط جریان را بیش تر تحت تأثیر قرار داده و بیش ترین تلاطم را در دماغه ایجاد می‌کنند. بنابراین حداکثر عمق حفره آبشستگی افزایش می‌یابد. در شکل (۳) تغییرات بی بعد حداکثر عمق حفره آبشستگی به طول آبشکن ($\frac{h_s}{L}$) نسبت به تغییرات زوایای مختلف آبشکن در دبی‌های متفاوت نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود نسبت بی بعد عمق آبشستگی به طول آبشکن با افزایش زاویه آبشکن و دبی جریان افزایش پیدا می‌کند. هم چنین مشاهده می‌شود حداکثر عمق حفره آبشستگی در سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه آبشکن چوگانی به دلیل انحراف نرم جریان در دماغه کم تر از آبشکن L شکل می‌باشد. حداکثر عمق حفره آبشستگی در آبشکن‌های L شکل و چوگانی در زاویه ۹۰ درجه نسبت به ۳۰ درجه به ترتیب $\frac{1}{4}$ و $\frac{3}{8}$ درصد بیش تر است.

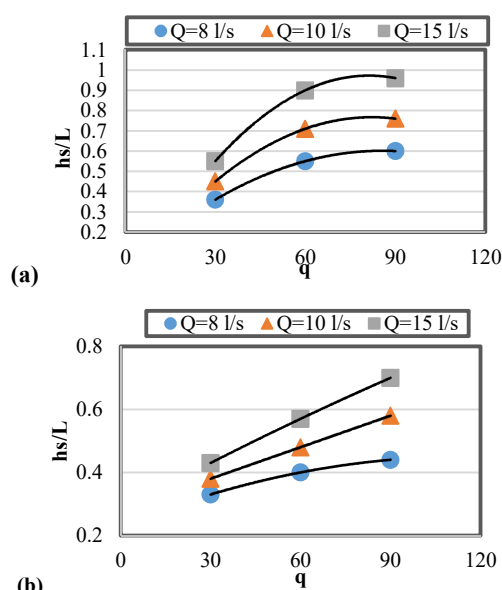


Figure 3. Effect of spur dike's angle on maximum dimensionless scouring depth: a) L-shaped spur dike and b) hockey spur dike

در شکل (۴) توپوگرافی بستر برای سری آبشکن‌های L شکل و چوگانی در زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه با دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه نشان داده شده است.

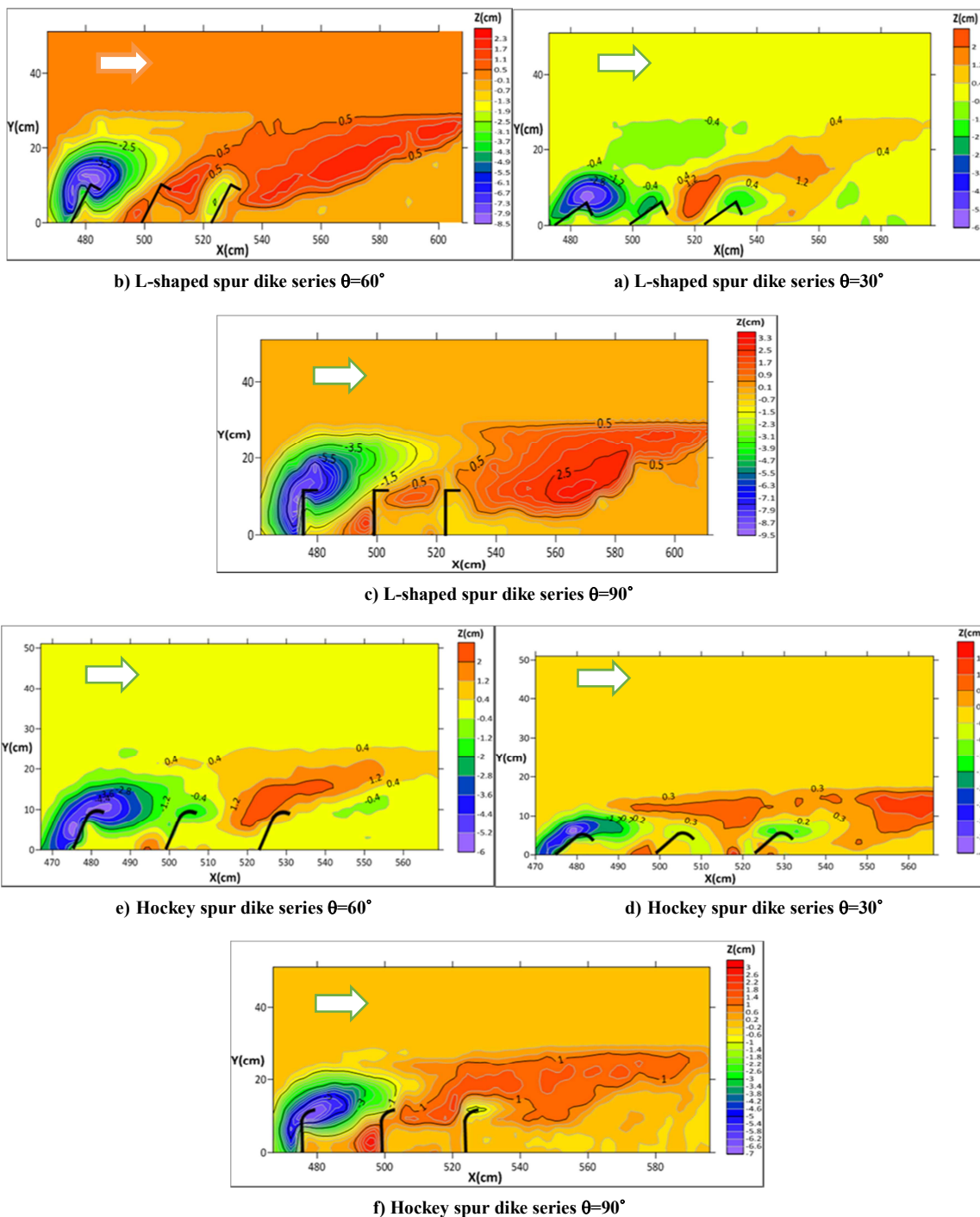


Figure 4. Bed topography around L-shaped and hockey spur dikes with different angles

لازم به ذکر است که خطوط منفی آب‌شستگی و خطوط مثبت رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد. در شکل‌های زیر محل آبشکن‌ها مشخص شده و فلش

برای بررسی الگوی آب‌شستگی و رسوب‌گذاری پروفیل بستر در سه جهت طول، عرض، ارتفاع برداشت شد و با استفاده از Surfer16 خطوط هم‌تراز رسم شد.

سری آبشکن L شکل می‌باشد. برای بررسی دقیق توپوگرافی بستر پیرامون آبشکن‌های L شکل و چوگانی در شکل‌های (۵) و (۶) سه پروفیل طولی به صورت بی‌بعد شده در فاصله شش، نه و ۱۲ سانتی‌متری از دیواره مجاور آبشکن‌ها ارائه شده است. مطابق شکل‌های (۵) و (۶) در محور عمودی عمق آبشستگی به عمق جریان و در محور افقی فاصله از نقطه پنج مارک به عرض کانال بی‌بعد شده است. در پایین دست سری آبشکن‌ها و در فاصله ۱۷۵ سانتی‌متری نسبت به اولین آبشکن نقطه‌ای به عنوان پنج مارک برای برداشت توپوگرافی بستر انتخاب شده است و از آن نقطه شروع به برداشت توپوگرافی بستر شده است.

جهت جریان را نشان می‌دهد و حداکثر عمق آبشستگی در زوایای مختلف همواره در دماغه اولین آبشکن و در محل انتهایی دماغه آبشکن (محل تلاقی زبانه با محور آبشکن) رخ می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زاویه آبشکن‌ها میزان آبشستگی در دماغه آبشکن افزایش داشته و هم‌چنین توسعه پشته رسوبی در پایین دست آبشکن‌ها با افزایش زاویه آبشکن افزایش یافته است. از طرفی همان‌گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود ابعاد و عمق حفره آبشستگی و توسعه پشته رسوبی در پایین دست سری آبشکن چوگانی در زوایای مختلف کم‌تر از

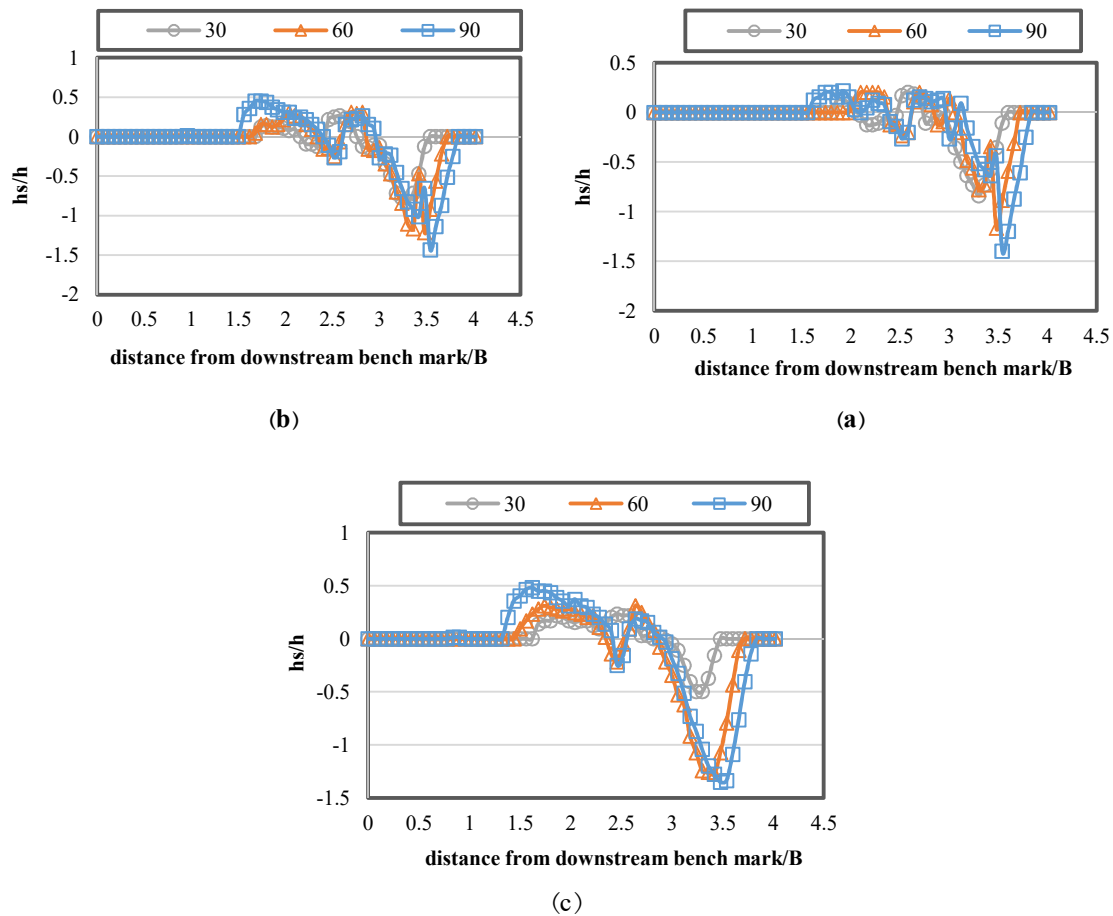


Figure 5. Longitudinal bed profile at the intervals a) 0.12B, b) 0.18B and c) 0.24B from the wall of the L-shaped spur dike series at different angles

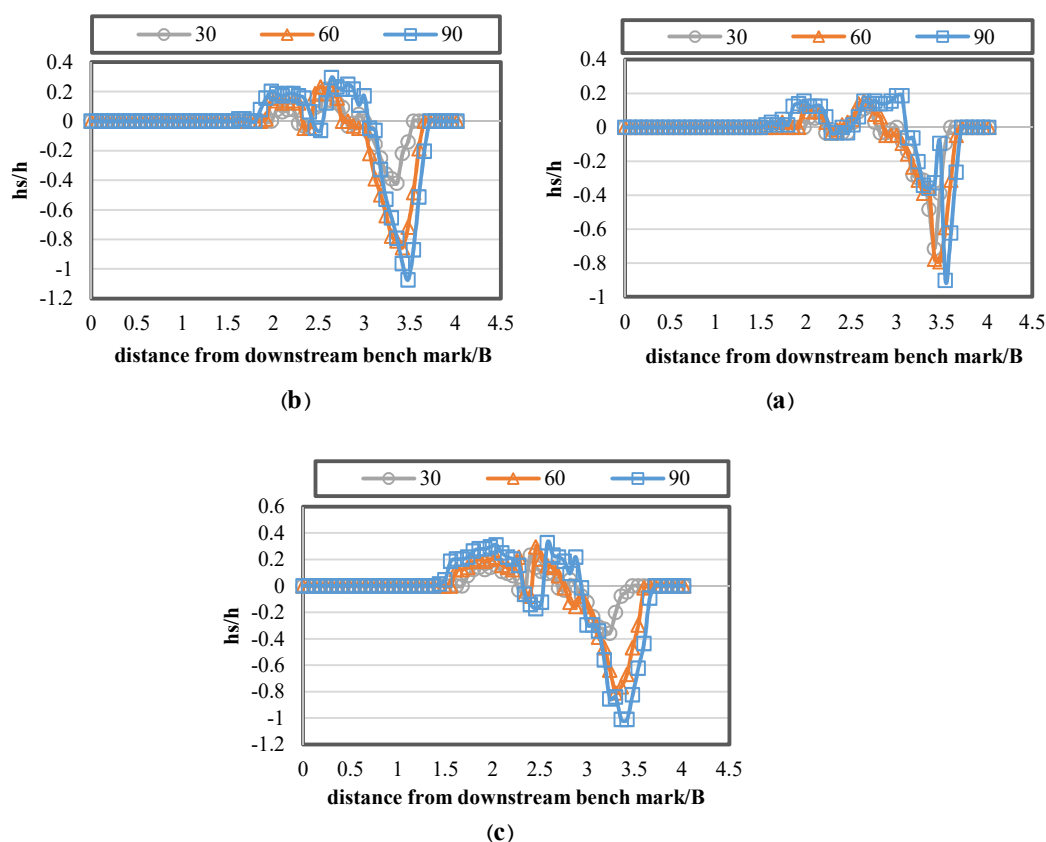


Figure 6. Longitudinal bed profile at the intervals a) 0.12B, b) 0.18B and c) 0.24B from the wall of the hockey shaped spur dike series at different angles

در شبکته‌های (5) و (6) مشاهده می‌شود که حفره آب‌شستگی حول دماغه آبشکن‌ها با افزایش زاویه آبشکن افزایش می‌یابد و با توجه به شکل (5) پشته رسوبی برای سری آبشکن L شکل با زاویه 90 درجه کشیده‌تر و ضخامت بیشتری دارد و تا حدود 2/16 برابر عرض کانال نسبت به محل دماغه اولین آبشکن در پایین دست آبشکن‌ها ادامه دارد، اما پشته رسوبی برای سری آبشکن L شکل با زاویه 30 و 60 درجه برای سری آبشکن L شکل و چوگانی مطابق شکل‌های (5) و (6) نشان می‌دهد ابعاد آب‌شستگی در دماغه آبشکن‌های چوگانی کمتر از آبشکن‌های L شکل می‌باشد، هم‌چنین طول پشته رسوبی آبشکن‌های چوگانی کمتر از آبشکن‌های L شکل می‌باشد. به دلیل این که دماغه آبشکن چوگانی عصایی شکل و تلاطم جریان در آن نسبت به آبشکن L شکل کمتر می‌باشد و

در شکل‌های (5) و (6) مشاهده می‌شود که حفره آب‌شستگی حول دماغه آبشکن‌ها با افزایش زاویه آبشکن افزایش می‌یابد و با توجه به شکل (5) پشته رسوبی برای سری آبشکن L شکل با زاویه 90 درجه کشیده‌تر و ضخامت بیشتری دارد و تا حدود 2/16 برابر عرض کانال نسبت به محل دماغه اولین آبشکن در پایین دست آبشکن‌ها ادامه دارد، اما پشته رسوبی برای سری آبشکن L شکل با زاویه 30 درجه تا فاصله حدود 1/38 برابر عرض کانال نسبت به محل دماغه اولین آبشکن در پایین دست آبشکن‌ها ادامه دارد و با توجه به شکل (6) پشته رسوبی برای سری آبشکن چوگانی با زاویه 90 درجه کشیده‌تر و ضخامت بیشتری دارد و تا حدود 2/04

شکل در مجاورت دیواره کانال میزان آبشستگی بسیار کم شده است در حالی که در مقطع پایین دست آبشکن چوگانی در مجاورت دیواره کانال آبشستگی صورت نگرفته است.

پس از مقایسه پروفیل عرضی بستر در سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه آبشکن چوگانی و L شکل همانطور که در شکل های (۷) و (۸) مشاهده می شود ابعاد چاله آبشستگی در بالادست و پایین دست آبشکن چوگانی کم تر از آبشکن L شکل می باشد، هم چنین مشاهده می شود در پایین دست آبشکن چوگانی در مجاورت دیواره کانال آبشستگی صورت نگرفته که در تخریب آبشکن و حفاظت فرسایش دیواره رودخانه نسبت به آبشکن L شکل بهتر عمل می کند.

آبشستگی کمتری در دماغه آن رخ می دهد و به دنبال آن میزان قدرت حمل رسوب در گودال و روی پشته رسوبی کم تر می باشد در نتیجه طول پشته کم تر است.

در شکل های (۷) و (۸) به بررسی پروفیل عرضی در مقطع بالادست و پایین دست اولین آبشکن سری آبشکن های L شکل و چوگانی در زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه پرداخته شده است. مطابق این نمودارها در محور عمودی عمق آبشستگی به عمق جریان و در محور افقی فاصله از دیواره مجاور آبشکن به عرض کانال بی بعد شده است. پس از بررسی پروفیل عرضی و توپوگرافی بستر برای سه زاویه آبشکن مشاهده می شود با افزایش زاویه آبشکن ابعاد آبشستگی در مقطع بالادست و پایین دست آبشکن بیشتر می شود و در مقطع پایین دست آبشکن L

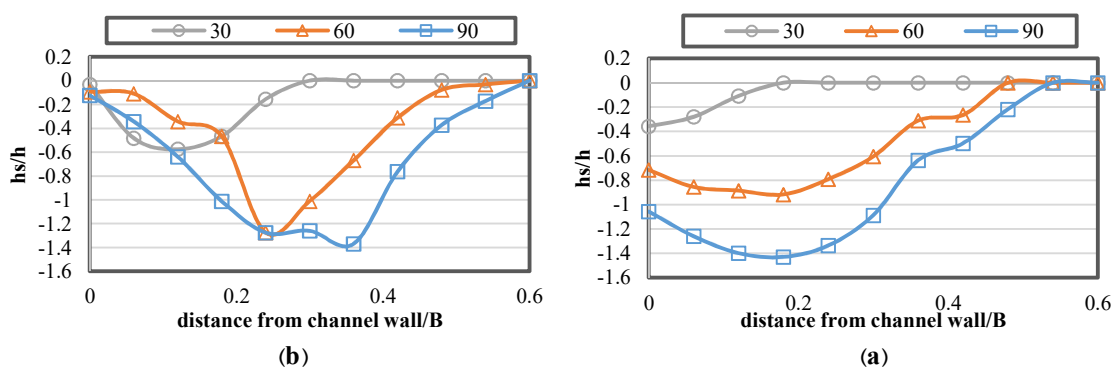


Figure 7. Bed cross section profiles at a) 20 mm upstream and b) 40 mm downstream from the first L-series spur dikes at different angles

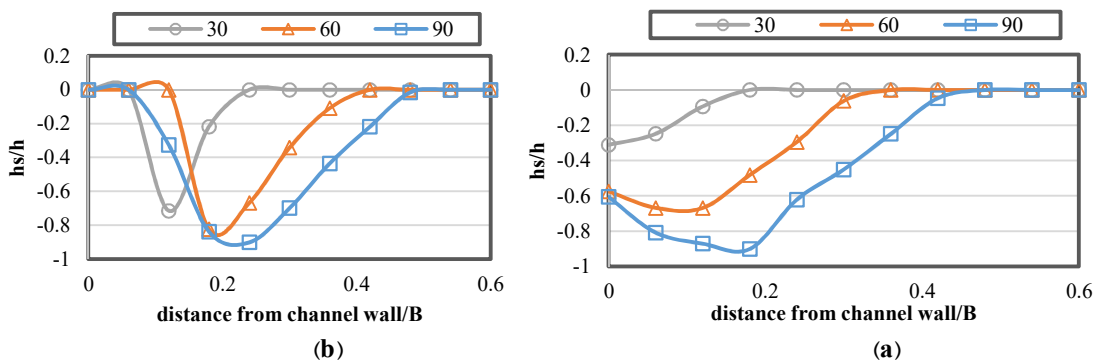


Figure 8. Bed cross section profiles at a) 20 mm upstream and b) 40 mm downstream from the first hockey spur dikes at different angles

مساحت و حجم آب‌شستگی در پیرامون آبشکن‌ها بیش‌تر می‌شود. به همین ترتیب با افزایش زاویه آبشکن‌های L شکل از ۳۰ به ۹۰ درجه میانگین مساحت و حجم آب‌شستگی به ترتیب ۴۱ و ۷۵/۵ درصد افزایش می‌یابد، در صورتی‌که با افزایش زاویه آبشکن‌های چوگانی از ۳۰ به ۹۰ درجه میانگین مساحت و حجم آب‌شستگی به ترتیب ۳۹ و ۷۳ درصد افزایش می‌یابد.

پس از مقایسه مساحت و حجم آب‌شستگی پیرامون سری آبشکن چوگانی و L شکل در سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه همان‌طور‌که در شکل‌های (۹) و (۱۰) مشاهده می‌شود مساحت و حجم آب‌شستگی پیرامون سری آبشکن چوگانی به دلیل تلاطم کم‌تر و انحراف نرم جریان در دماغه از سری آبشکن L شکل کم‌تر است و کم‌ترین آب‌شستگی در پیرامون آبشکن‌های چوگانی با زاویه ۳۰ درجه رخ می‌دهد.

برای بررسی تأثیر زاویه بر مساحت و حجم آب‌شستگی پیرامون سری آبشکن‌های چوگانی و L شکل با استفاده از نرم‌افزار Surfer16 مساحت و حجم آب‌شستگی در پیرامون سری آبشکن‌های چوگانی و L شکل با سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه محاسبه شده است و نمودارهای آن‌ها در مقابل دبی جریان طبق شکل‌های (۹) و (۱۰) ارائه شده است. افزایش دبی جریان در سطح مقطع ثابت کانال باعث افزایش سرعت جریان و به دنبال آن قدرت گردابه‌ها و تنش برشی نزدیک بستر در اطراف آبشکن‌ها افزایش می‌یابد و این مسئله باعث افزایش مساحت و حجم آب‌شستگی می‌شود، هم‌چنین با افزایش زاویه آبشکن‌ها طول تصویرشده آبشکن بر جریان بیش‌تر شده، مقطع جریان تنگ‌تر شده و میزان انحراف ایجادشده جریان توسط آبشکن بیش‌تر شده و باعث می‌شود تلاطم در دماغه آبشکن‌ها تشدید شود در نتیجه

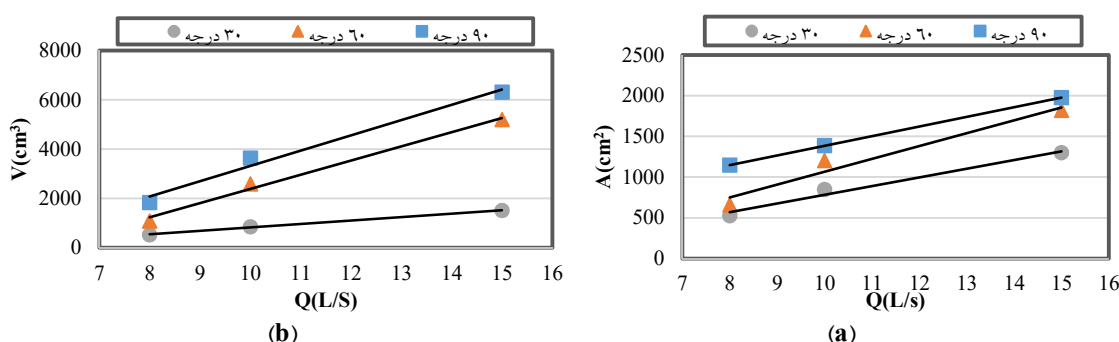


Figure 9. Variation of a) Area and b) Scour volume with increasing discharge for L-shaped spur dike at $\theta=30^\circ, 60^\circ$ and 90°

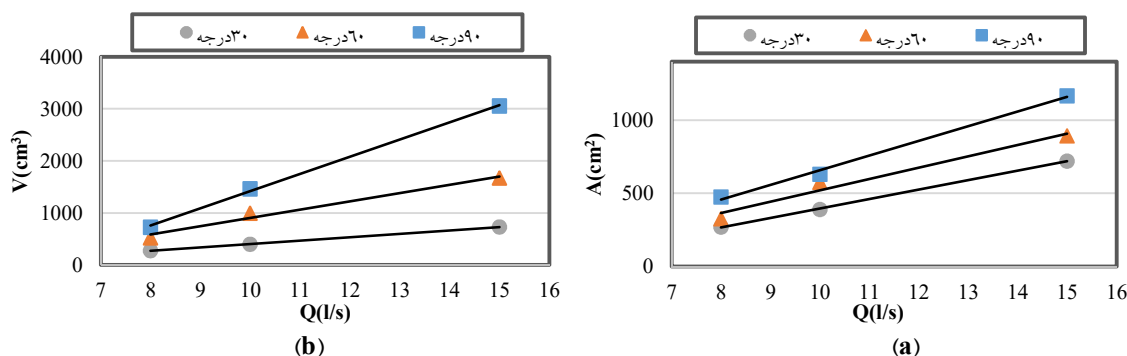


Figure 10. Variation of a) Area and b) Scour volume with increasing discharge for hockey spur dike at $\theta=30^\circ, 60^\circ$ and 90°

- حداکثر عمق حفره آبشستگی در آبشکن‌های L شکل و چوگانی در زاویه ۹۰ درجه نسبت به ۳۰ درجه به ترتیب ۴/۱ و ۸/۳۳ درصد بیش‌تر است.

- با افزایش زاویه آبشکن‌ها طول و ضخامت پشته رسوبی در پایین‌دست آبشکن‌ها افزایش می‌یابد و طول و ضخامت پشته رسوبی در پایین‌دست آبشکن‌های چوگانی کم‌تر از آبشکن‌های L شکل است.

- با افزایش زاویه آبشکن‌های L شکل از ۳۰ به ۹۰ درجه میانگین مساحت و حجم آبشستگی به ترتیب ۴۱ و ۵/۷۵ درصد افزایش می‌یابد، در صورتی‌که با افزایش زاویه آبشکن‌های چوگانی از ۳۰ به ۹۰ درجه میانگین مساحت و حجم آبشستگی به ترتیب ۳۹ و ۷۳ درصد افزایش می‌یابد.

- پروفیل عرضی بستر در سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه آبشکن چوگانی و L شکل نشان می‌دهد با افزایش زاویه عرض چاله آبشستگی بیش‌تر می‌شود و ابعاد چاله آبشستگی در بالادست و پایین‌دست آبشکن چوگانی کم‌تر از آبشکن L شکل می‌باشد، هم‌چنین در پایین‌دست آبشکن چوگانی در مجاورت دیواره کانال آبشستگی صورت نگرفته که در تخریب آبشکن و حفاظت فرسایش دیواره رودخانه نسبت به آبشکن L شکل بهتر عمل می‌کند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Abbasi, A. (2014). Experimental Investigation on the Effect of Length, Space and Shape of Gabion Groynes on Local Scouring Depth. *Journal of water and soil conservation*, 21(4), 231-246. (in Persian)
2. Asgari, S., & Nazari, S. (2012). Effect of hockey spur dike on thalweg scouring in 90° bends. *Second conference on sustainable development in arid and semi-arid regions*, Abarkooh, Iran.

مطابق شکل (۱۱) حجم آبشستگی آبشکن L شکل پژوهش حاضر با پژوهش Zhang et al. (2018) مقایسه شده است. با توجه به شکل می‌توان نتیجه گرفت وقتی عمق آبشستگی کم است حجم آبشستگی پژوهش حاضر تقریباً با این مطابقت دارد، اما با افزایش عمق آبشستگی حجم آبشستگی پژوهش حاضر بسیار کم‌تر از پژوهش Zhang et al. (2018) می‌باشد که دلیل این امر زمان آزمایش می‌باشد، زمان آزمایش پژوهش Zhang et al. (2018)، ۴۹ ساعت درحالی‌که زمان آزمایش پژوهش حاضر پنج ساعت است. با افزایش زمان آزمایش آبشستگی عمق، حجم و هندسه حفره آبشستگی بیش‌تر می‌شود.

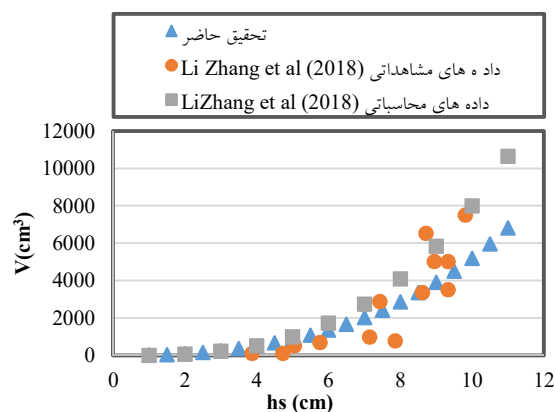


Figure 11. Variation of scour volume with increasing scour depth

نتیجه گیری

در این مطالعه به بررسی آزمایشگاهی زاویه آبشکن چوگانی بر آبشستگی و توپوگرافی بستر و مقایسه آن با آبشکن L شکل پرداخته شده است نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که:

- با افزایش زاویه آبشکن‌ها از ۳۰ به ۶۰ درجه و از ۶۰ به ۹۰ درجه پارامترهای حفره آبشستگی شامل (حداکثر عمق، حداکثر عرض، طول بالادست و پایین‌دست) افزایش می‌یابد و پارامترهای حفره آبشستگی پیرامون آبشکن چوگانی کوچک‌تر از آبشکن L شکل است.

3. Fazli, M., Ghodsian, M., & Salehi Neyshabouri, S. A. A. (2008). Scour and flow field around a spur dike in a 90° bend. *International Journal of Sediment Research*, 23(1), 56-68.
4. Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., & Shields, F.D. Jr. (2002). Local Scour Associated with Angled Spur Dikes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(12), 1087-1093.
5. Masjedi, A., Dehkordi, V., Alinejadi, M., & Taedi, A. (2010). Experimental Study on Scour Depth in around a T-shape spur dike in a 180 degree bend. *World Applied Sciences Journal*, 10(10), 1146-1152.
6. Nath, D., & Misra, U. K. (2017). Experimental Study of Local Scour around Single Spur Dike in an Open Channel. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(6), 2728-2734.
7. Özyaman C., Yerdelen C., Eris, E., & Daneshfaraz, R. (2022). Experimental investigation of scouring around a single spur under clear water conditions. *Water supply*, 22(3), 3485.
8. Ozyaman, C., & Yerdelen, C. (2017). Experimental study of local scour around spur dikes in straight open channels. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 4(3), 131-134.
9. Pandey, M., Jamei, M., Ahmadianfar, I., Karbasi, M., Lodhi A.S., & Chu, X. (2022). Assessment of scouring around spur dike in cohesive sediment mixtures: A comparative study on three rigorous machine learning models. *Journal of Hydrology*, 606, 127330
10. Perdok, UH. (2002). Application of timber groynes in coastal engineering. M.Sc Thesis, *TU delft University of Technology*.
11. Shafaei Bajestan, M. (2009). Sediment Transport Hydraulics. *Shahid Chamran University Press*.
12. Yabarehpoor, E., & Kashefipour, S. M. (2014). Comparison of Bed Topography for the Permeable and Impermeable Spur Dikes Group. *Journal of irrigation science and engineering*, 37(4), 77-86.
13. Yazdi, J. Sarkardeh, H. Azamathulla, HM., & A Aminuddin. (2010). 3D simulation of flow around a single spur dike with free-surface flow. *International Journal of River Basin Management*, 8(1), 55-62.
14. Zare, M., & Honar, T. (2015). Effect of Groyne on Reducing Coastal Erosion in River Bend. *Water and soil science*, 25(1), 181-193. (in Persian)
15. Zhang, L., Wang, P., Yang, W., Zuo, W., Gu, X., & Yang, X. (2018). Geometric Characteristics of Spur Dike Scour under Clear-Water Scour Conditions. *Water*, 10(6), 680.