

بررسی آزمایشگاهی اثر طول سری آبشکن‌های T شکل بر کنترل فرسایش کناره در شرایط غیر مستغرق در کانال پیچان‌رودی

پدرام اسمعیلی^۱، سیامک بوداقپور^۲، محمد رستمی^{۳*}، مهدی میرزایی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۹

چکیده

استفاده از آبشکن‌ها یکی از روش‌های رایج برای کنترل فرسایش کناره و حفاظت سواحل رودخانه‌ها است. در واقع حضور آبشکن‌ها موجب اصلاح شرایط هیدرولیکی جریان و همچنین کاهش قدرت فرسایشی آب در فاصله دو آبشکن می‌شود که در نهایت زمینه رسوبگذاری و تثبیت سواحل رودخانه را به وجود می‌آورد. در این پژوهش با ساخت یک کانال آزمایشگاهی پیچان‌رودی و استفاده از پنج آبشکن، اقدام به بررسی تاثیر آبشکن‌های سری T شکل بر کنترل فرسایش کناره گردید. آزمایش‌ها با در نظر گرفتن سه طول موثر و سه عدد فرود مختلف در حالت نفوذناپذیر و به صورت غیر مستغرق انجام پذیرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش طول آبشکن‌ها، میزان عقب نشینی کناره کاهش می‌یابد. به طوری که برای طول‌های ۹، ۱۲ و ۱۵ سانتی‌متر به ترتیب حدود ۳۱/۷٪، ۳۵/۴٪ و ۵۸/۰ درصد میانگین عقب‌نشینی کناره نسبت به حالت بدون آبشکن کاهش کمتر بود. در این پژوهش از سه معیار R^2 ، RMSE و MAE به منظور مقایسه داده‌های حاصل از رابطه بدست آمده و داده‌های آزمایشگاهی استفاده شد، که مقدار این شاخص‌ها به ترتیب برابر ۰/۹۲۴، ۰/۱۲۷ و ۰/۰۹۷ برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: آبشکن T شکل، بررسی آزمایشگاهی، طول آبشکن، فرسایش کناره

مقدمه

جریان و آبستگی در اطراف آبشکن‌های مورد استفاده بسیار پیچیده و مشکل می‌شود. بنابراین ضروری است که موضوع حفاظت سواحل رودخانه‌ها توسط آبشکن‌ها، مورد بررسی قرار گیرد که در ادامه به ذکر خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته اشاره می‌شود.

هاشمی نجفی و همکاران به بررسی آبستگی پیرامون آبشکن L پرداخت. نتایج حاصله نشان داد که عمق آبستگی در آبشکن L شکل با زبانه به سمت بالادست، از آبشکن مستقیم بیشتر است (Hashemi Najafi et al., 2008). ژنگ و ناکاگوا با انجام آزمایش‌هایی بر تک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر به مقایسه آبستگی اطراف این دو نوع آبشکن پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که حداکثر عمق آبستگی اطراف آبشکن نفوذپذیر به میزان ۵۰ درصد از آبشکن نفوذناپذیر کمتر است (Zhang and Nakagawa., 2008). دهقانی و همکاران به مطالعه آبستگی موضعی پیرامون آبشکن‌های سری L شکل پرداختند. آنها اذعان داشتند که بیشترین عمق آبستگی پیرامون آبشکن اول رخ می‌دهد (Dehghani et al., 2009). طلعت و همکاران در تحقیقی به تاثیر آبشکن‌های غیرمستغرق به منظور کاهش فرسایش کناره پرداختند. نتایج آنها نشان داد که عملکرد آبشکن‌ها با فاصله آبشکن‌ها از یکدیگر نسبت عکس

تخریب و فرسایش دیواره رودخانه‌ها به ویژه در محل قوس‌ها امری طبیعی و اجتناب ناپذیر است که سبب تغییر در ریخت‌شناسی رودخانه‌ها می‌شود. بنابراین نیاز است تا برای مقابله با این پدیده راهکاری در نظر گرفته شود، که استفاده از آبشکن‌ها می‌تواند یکی از این روش‌ها برای ساماندهی و تثبیت دیواره رودخانه‌ها باشد. آبشکن‌ها سازه‌های عرضی هستند که از دیواره طبیعی رودخانه با طول و زاوایای مناسبی نسبت به راستای عمومی جریان، گسترش یافته و سبب انحراف جریان از کناره‌ها و نواحی بحرانی شده و جریان را به سمت محور مرکزی رودخانه هدایت می‌کنند. هنگامی که از آبشکن‌ها برای حفاظت دیواره‌ی رودخانه در خم‌ها استفاده می‌شود، تحلیل

۱- گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۳- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
(*-نویسنده مسئول: Email:Rostami@scwmri.ac.ir)

قوس را مطالعه کردند. آنها در پژوهش خود مشاهده نمودند که جریان ثانویه از ۳۰ درجه آغاز می شود و تا ۶۵ درجه به صورت کاهشی ادامه خواهد یافت (Vaghefi et al., 2017). مهرآیین و همکاران، آبستگی پیرامون آبشکن T شکل را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد که نسبت طول آبشکن به متوسط اندازه رسوبات، بر ابعاد حفره آبستگی تأثیرگذار است (Mehraein et al., 2017). چامپور و کاشفی پور به مطالعه تأثیر نفوذپذیری و طول سری آبشکنها بر ابعاد چاله آبستگی در شرایط غیر مستغرق پرداختند. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که با افزایش نفوذپذیری، ابعاد چاله آبستگی در عدد فرود ثابت جریان، کاهش داشته است. همچنین در کلیه حالات نفوذپذیری با زیاد شدن طول آبشکن، ابعاد چاله آبستگی افزایش خواهد یافت (Champour and Kashefipour, 2017). جلیلی و همکاران به بررسی تأثیر آبشکنهای نوع باندا لایک مستغرق و معمولی بر تغییرات رقوم بستر در قوس ۹۰ درجه پرداختند. بررسی ها نشان داد که با افزایش عدد فرود آبستگی افزایش می یابد و همچنین عمق آبستگیها در شرایط وجود سازه باندا لایک نسبت به سازه شاهد نفوذناپذیر کاهش پیدا کرده است (Jalili et al., 2018). سعادت نیا و همکاران در تحقیقی به مطالعه تأثیر آبشکن محافظ بر میزان آبستگی دماغه تکیه گاه پل پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد در صورتی که زاویه آبشکن بین ۹۰ تا ۱۲۰ درجه باشد فرسایش تکیه گاه پل می تواند تا حدود ۷۰ درصد کاهش پیدا کند (Saadatnia et al., 2018). نیر و همکاران آبستگی پیرامون آبشکن T شکل را تحت تأثیر آبشکنهای بالادست و پایین دست مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که متوسط عمق آبستگی پیرامون آبشکن T شکل میانی، حدود ۰/۸ برابر عمق جریان می باشد (Nayyer et al., 2019).

بررسی پژوهشهای گذشته نشان می دهد که تاکنون محققین زیادی در مورد آبستگی پیرامون آبشکن منفرد و همچنین آبشکنهای سری تحقیق کرده اند. اما مطالعات مربوط به سری آبشکنها به منظور کنترل فرسایش کناره کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به همین منظور هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر طول آبشکن بر میزان فرسایش کناره تحت تأثیر آبشکنهای سری T شکل در کانال پیچان رودی با دیواره شیب دار فرسایش پذیر است.

مواد و روشها

تحلیل ابعادی

بررسی ها نشان می دهد که پارامترهای فراوانی در عملکرد آبشکنها برای حفاظت از کناره رودخانهها موثرند. به همین منظور در این پژوهش برای یافتن رابطه بین عوامل موثر بر عقب نشینی کناره پارامترهای متعددی وجود دارند، اما پس از تحلیل حساسیت و توصیه

دارد و همچنین با طول آبشکنها نسبت مستقیم دارد (Talaat et al., 2009). موسوی و همکاران به صورت آزمایشگاهی تأثیر طول آبشکن در کاهش فرسایش کناره رودخانه را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش طول آبشکن از ۲۵ به ۳۵ سانتی متر میزان سطح فرسایش کناری از ۲۰ تا ۴۰ درصد در دبی های ۱۵ تا ۲۵ لیتر در ثانیه کاهش پیدا کرده است (Mosavi et al., 2010). مسجیدی و همکاران تأثیر طول آبشکن L شکل بر عمق آبستگی در خم ۱۸۰ درجه مطالعه کردند. نتایج این پژوهش بیانگر این است که در هر چهار طول آبشکن، کمینه آبستگی در اطراف آبشکنها در زاویه ۳۰ درجه و بیشینه عمق آبستگی در زاویه ۷۵ درجه رخ داده است (Masjedi et al., 2011). عباسی و ملک نژاد در پژوهش خود به بررسی تأثیر مشخصات هندسی آبشکنهای نفوذپذیر مستقیم و T شکل بر آبستگی پیرامون آنها پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که آبشکن T شکل نسبت به آبشکن مستقیم عمق آبستگی کمتری در دماغه دارد (Abbasi and Maleknejad., 2012). مهرنهاد و قدسیان آبستگی اطراف آبشکن T شکل مورد بررسی قرار دادند. آنها یافتند که سرعت گسترش آبستگی در اطراف آبشکن T شکل برای ماسه ریزدانه به مراتب بیشتر از ماسه درشت دانه است (Mehrnahad and Ghodsian., 2012). اقبالی و همکاران به بررسی روند توسعه زمانی ابعاد حفره آبستگی پیرامون آبشکن زبانه دار پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بخش اعظم آبستگی در زمانهای اولیه آزمایش اتفاق می افتد (Eghbali et al., 2013). دیوسالار و موسوی جهرمی به مطالعه تأثیر طول بال آبشکن L شکل بر آبستگی پیرامون آن در قوس پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش طول بال آبشکن، عمق و حجم آبستگی کاهش پیدا می کند (Divsalar and Mousavi-Jahromi., 2014). شجاعیان و همکاران آبستگی موضعی اطراف سری آبشکنهای نوع باندا لایک را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بیشینه عمق آبستگی در اطراف آبشکن اول رخ می دهد. همچنین بیان داشتند که در یک عدد فرود ثابت، با زیاد شدن فاصله بین آبشکنها میزان حداکثر عمق آبستگی کاهش خواهد یافت (Shojaeian et al., 2015). زارع و هنر، به صورت آزمایشگاهی تأثیر آبشکن ساده بر کاهش فرسایش کناره در شرایط جاذب، دافع و عمود در قوس رودخانه بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که بیشترین عمق آبستگی در پای آبشکن عمودی رخ داده است (Zare and Honar et al., 2016). شهابی و کاشفی پور، به مطالعه تأثیر نفوذپذیری سری آبشکنها بر روی ابعاد چاله آبستگی در قوس ۹۰ درجه پرداختند. نتایج آنها نشان داد که در عدد فرود ثابت، با افزایش درصد نفوذپذیری آبستگی به طور قابل توجهی کاهش یافته است (Shahabi and Kashefipour et al., 2016). واقفی و همکاران به صورت آزمایشگاهی جریان سه بعدی اطراف تک آبشکن T شکل در

از مصالح درشت‌دانه در قسمت ورودی کانال ایجاد گردید. پس از حوضچه آرامش، کانال با شکل پلان مستقیم و به طول تقریبی ۴ متر طی مسیر نموده و به قوس‌های متوالی منتهی می‌گردد. پس از قوس‌های متوالی نیز مجدد کانال با شکل پلان مستقیم و بطول حدود ۱۱ متر به مخزن تخلیه کننده انتهایی متصل می‌شود. بازه قوسی شکل دارای طولی برابر ۱۰ متر می‌باشد. این بازه قوسی با زوایای ۴۵، ۹۰ و ۴۵ درجه به یکدیگر متصل شده‌اند. میزان دبی به وسیله یک سرریز مستطیلی واسنجی شده اندازه‌گیری شد. در شکل ۱ نمایی از پلان کانال آزمایشگاهی نشان داده شده است. آزمایش‌ها در کانالی با دیواره شیب دار فرسایش‌پذیر متشکل از مصالح ماسه‌ای با دانه‌بندی یکنواخت به قطر $D_{50}=2.9$ میلی‌متر و انحراف معیار $\sigma_g=1.31$ انجام شد. شیب دیواره شیب‌دار فرسایش‌پذیر کانال ۱:۱/۵ (عمودی به ۱/۵ افقی) در نظر گرفته شد. کف کانال آزمایشگاهی صلب می‌باشد. مقطع نهایی مورد آزمایش مطابق برش A-A می‌باشد که در شکل ۱ ارائه شده است. در کلیه آزمایش‌ها عمق آب ثابت و برابر ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای تنظیم عمق جریان از یک دریچه کشویی در انتهایی کانال استفاده شد. آزمایش‌ها با سه دبی ۳۰، ۴۰ و ۴۸ لیتر بر ثانیه به ترتیب متناظر با اعداد فرود ۰/۴۱، ۰/۴۸ و ۰/۵۵ صورت پذیرفت. برای اندازه‌گیری تغییرات دیواره فرسایش‌پذیر کانال از دستگاه بسترسنج دیجیتالی ساخت کشور هلند استفاده شده است. با حرکت این دستگاه در راستای مختلف میزان عقب‌نشینی کناره در نقاط مورد نظر، اندازه‌گیری شد و نتایج ثبت گردید.

آبشکن‌های مورد استفاده در این تحقیق از نوع T شکل و از جنس پلکسی‌گلاس است. طول جان و بال آبشکن‌ها با یکدیگر برابر می‌باشد. آزمایشات در سه طول متفاوت ۹، ۱۲ و ۱۵ سانتی‌متر انجام شد. همچنین ضخامت و ارتفاع آبشکن‌ها به ترتیب ۰/۵ و ۳۰ سانتی‌متر انتخاب گردید. عرض کانال برابر ۵۹ سانتی‌متر انتخاب گردید. نسبت طول موثر آبشکن به عرض کانال به ترتیب برابر ۰/۱۵، ۰/۲۰ و ۰/۲۵ در نظر گرفته شد. این معیار بر اساس پیشنهاد محققانی چون پردوک (۲۰۰۲) و ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۵) تعیین شده است. آبشکن‌ها به صورت قائم بر جریان و غیرمستغرق در کانال آزمایشگاهی جانمایی شد. در این تحقیق و بر اساس استانداردهای موجود، فاصله بین آبشکن‌های متوالی یکسان و برابر ۱۲/۵ درجه در نظر گرفته شد. آبشکن‌ها در نیمه دوم قوس شماره ۲ و بخشی از قوس شماره ۳ با فاصله یکسان از یکدیگر نصب گردید و در هر آزمایش پنج عدد آبشکن استفاده شد. از آنجا که در آزمایش بدون آبشکن مشخص گردید که ابتدا بازه فرسایشی، نزدیک به محور مرکزی قوس شماره ۲ و جلوتر از آن می‌باشد. از این رو آبشکن اول بر روی محور مرکزی این قوس جانمایی شد. در شکل ۲ موقعیت استقرار آبشکن‌ها در قوس نشان داده شده است.

سایر پژوهشگرانی که به بررسی تحقیقات گذشته پرداخته‌اند، برخی از پارامترها به دلیل تکرار شدن و اثرگذاری مجدد، از رابطه حاصل از آنالیز ابعادی حذف می‌شوند. بنابراین در این تحقیق به منظور یافتن رابطه بین عوامل موثر بر عقب‌نشینی کناره در پیرامون آبشکن‌ها، تحلیل ابعادی صورت گرفت که پارامترهای موثر در این زمینه، مطابق با رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$f(B, L, L_w, R, a, \sigma_g, d_{50}, \gamma, d_s, u, u_{cr}, \rho_s, \rho_w, g, \beta, \theta, r_b) = 0 \quad (1)$$

که در آن B عرض کانال، L طول جان آبشکن، L_w طول بال آبشکن، R شعاع مرکزی قوس، a فاصله آبشکن‌ها، σ_g انحراف معیار ذرات، d_{50} قطر متوسط ذرات دیواره کانال، γ عمق جریان، d_s بیشترین عمق آبشستگی، u سرعت متوسط جریان، u_{cr} سرعت بحرانی، ρ_s جرم مخصوص رسوبات، ρ_w جرم مخصوص آب، g شتاب ثقل، β زاویه مرکزی محدوده بین دو آبشکن در قوس، θ شیب دیواره کانال، r_b عقب‌نشینی کناره می‌باشند. با حذف پارامترهایی که در این پژوهش ثابت فرض شده اند و همچنین پارامترهایی که از اهمیت کمتری برخوردارند رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$\frac{r_b}{y} = f\left(F_r, \frac{L}{B}, \beta\right) \quad (2)$$

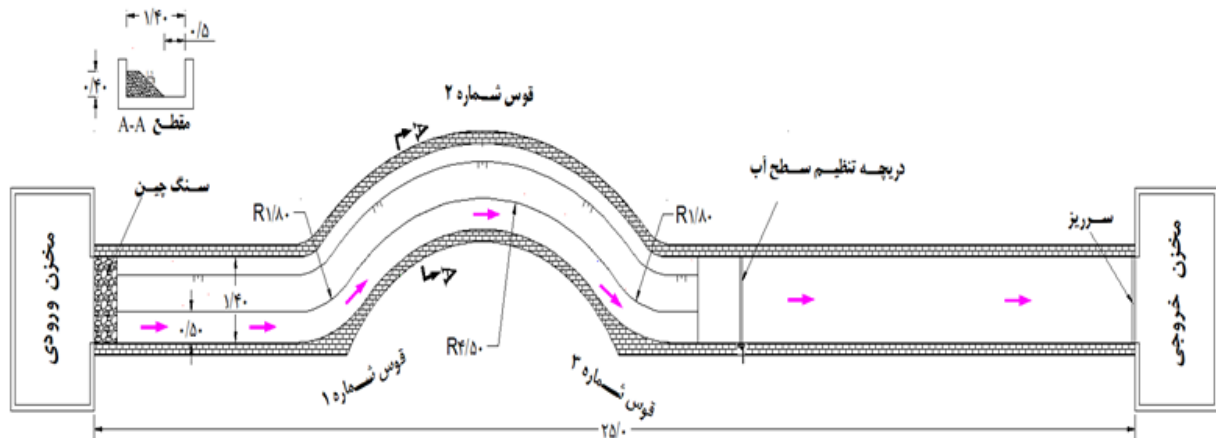
همان طور که ملاحظه می‌گردد در رابطه (۲) نسبت عقب‌نشینی کناره (r_b) به عمق جریان (y)، تابعی از عدد فرود (F_r)، تنگ شدگی کانال (L/B) و زاویه β است. بنابراین باتوجه به اثر این پارامترها بر عقب‌نشینی کناره، مقایسه تاثیر اعداد فرود مختلف، تنگ شدگی کانال و زاویه β انجام گرفت. در جدول ۱ محدوده تغییرات این پارامترها نمایش داده شده است.

جدول ۱ - محدوده تغییرات پارامترهای بی‌بعد

پارامتر	محدوده تغییرات
F_r	۰/۴۱ - ۰/۵۵
$\frac{L}{B}$	۰/۱۵ - ۰/۲۵
β	۰ - ۵۰

تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌های این تحقیق در کانالی بتنی به صورت ترکیبی از مسیر مستقیم و قوسی به طول ۲۶ متر و به شکل مستطیل به عرض ۱/۴ متر و ارتفاع ۰/۶ متر در آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران انجام پذیرفت. طول تصویر ظاهری این کانال بر روی محور افقی ۲۵ متر می‌باشد. در بالادست این کانال یک مخزن آرام کننده وجود دارد که توسط یک تبدیل به کانال آزمایشگاهی متصل شده است. به منظور جلوگیری از فرسایش دیواره شیب‌دار کانال و همچنین کاهش تلاطم جریان، یک حوضچه آرامش متشکل



شکل ۱- شماتیک پلان کانال آزمایشگاهی



شکل ۲- موقعیت استقرار آبشکن‌ها در قوس

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O - F)^2}{N}} \quad (۴)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O - F)^2}{\sum_{i=1}^N O^2 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N F^2}{N} \right)} \right] \quad (۵)$$

که در آن N بیان کننده تعداد آزمایش‌ها، O بیان کننده مقادیر اندازه‌گیری شده و F بیان کننده مقادیر محاسبه شده از رابطه بدست آمده در این پژوهش می‌باشد.

نتایج و بحث

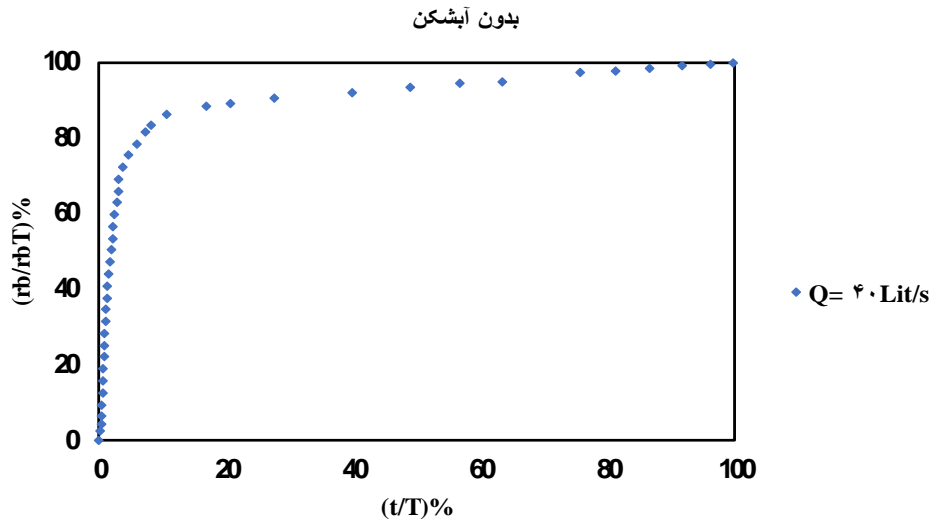
تاثیر تغییرات عدد فرود بر عقب‌نشینی کناره

در آبشکن‌هایی که به منظور کنترل فرسایش کناره در ساحل خارجی، مورد استفاده قرار می‌گیرند اگر میزان فرسایش ساحل خارجی بیشتر از طول سازه آبشکن باشد، سازه آبشکن واژگون و در نتیجه موجب شدت گرفتن فرسایش ساحل خارجی می‌شود. بنابراین بررسی میزان عقب‌نشینی کناره بسیار مهم است.

به منظور تعیین زمان انجام آزمایش‌ها، یک آزمایش طولانی به مدت ۲۴ ساعت در حالت بدون آبشکن با دبی حداکثر ۴۰ لیتر بر ثانیه انجام شد. این آزمایش‌ها نشان داد که در مدت ۲ ساعت اول تقریباً بیش از ۸۰ درصد عقب‌نشینی کناره اتفاق می‌افتد. بنابراین در این آزمایش‌ها زمان ۲ ساعت به عنوان زمان انجام هر آزمایش انتخاب شد. در شکل ۳ منحنی درصد تغییرات عقب‌نشینی نسبی نسبت به زمان نسبی عقب‌نشینی نشان داده شده است. Γ_B عقب‌نشینی در زمان t ، Γ_{BT} حداکثر عقب‌نشینی در زمان T ، t زمان حداکثر عقب‌نشینی می‌باشد.

به منظور مقایسه رابطه حاصل از این تحقیق با مقادیر آزمایشگاهی، از پارامترهای ضریب همبستگی (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) مطابق معادلات (۳) تا (۵) استفاده گردید.

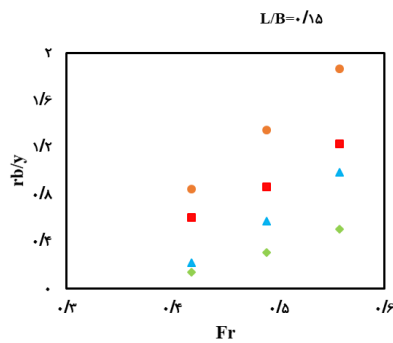
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O - F| \quad (۳)$$



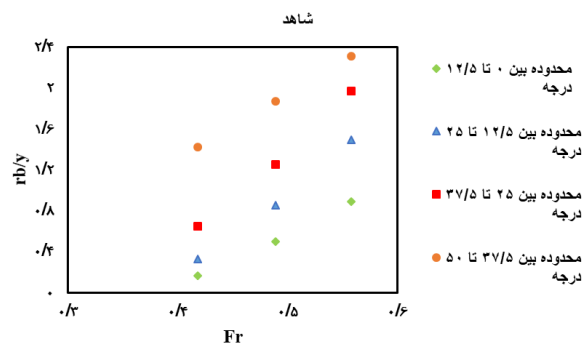
شکل ۳- منحنی درصد تغییرات عقب‌نشینی نسبی نسبت به درصد زمان نسبی عقب‌نشینی

افزایش عدد فرود به علت افزایش سرعت جریان، در تمامی حالات میزان عقب‌نشینی کناره افزایش یافته است.

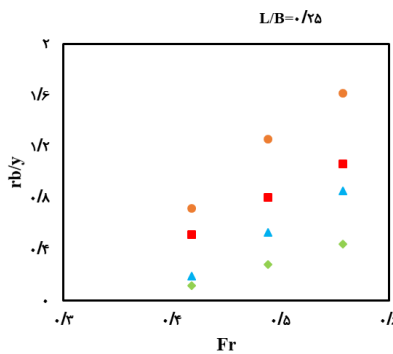
شکل ۴ تغییرات عدد فرود بر عقب‌نشینی کناره در شرایط حضور و عدم حضور آبشکن‌ها را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با



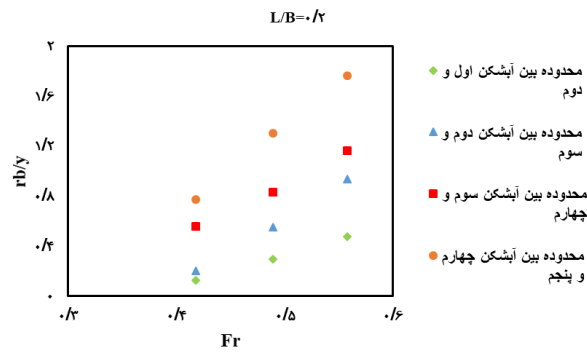
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

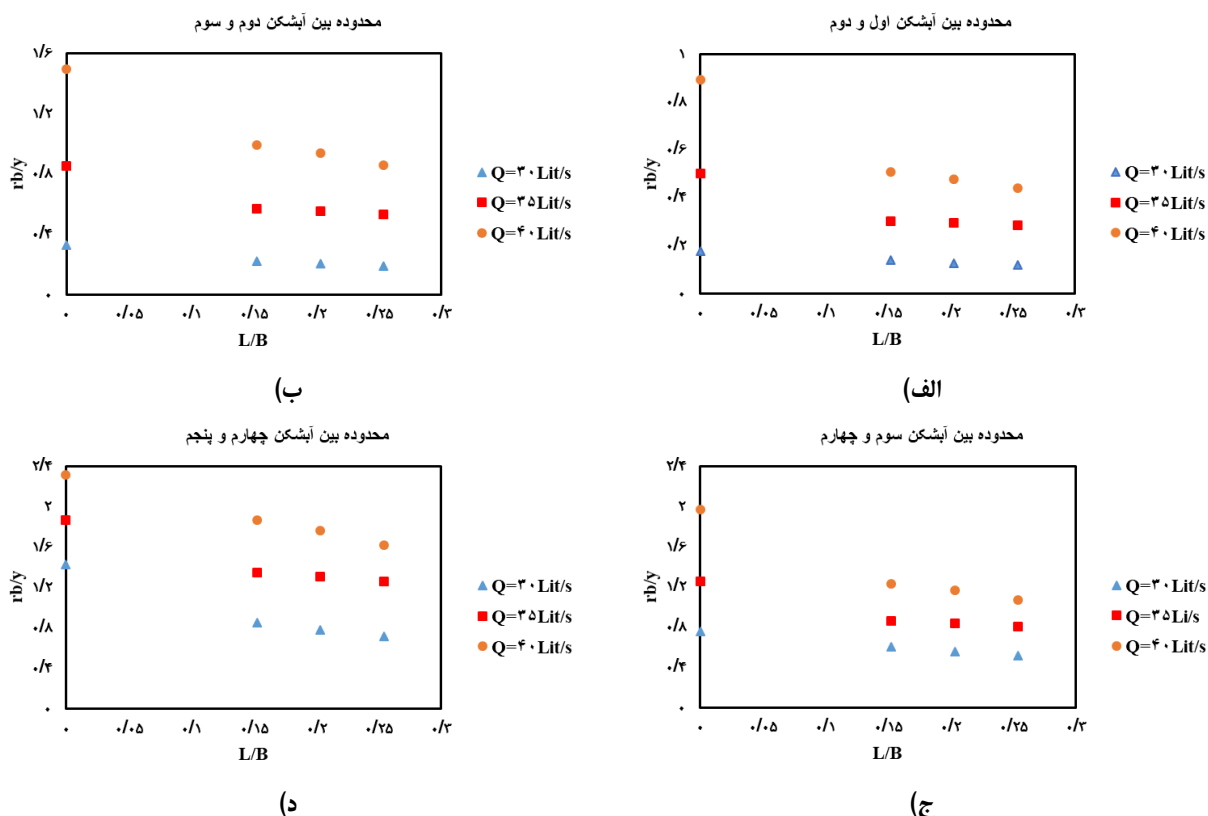
شکل ۴- تاثیر تغییرات عدد فرود بر عقب‌نشینی کناره (الف) بدون آبشکن (ب) همراه با آبشکن $L/B = 0.15$ (ج) همراه با آبشکن $L/B = 0.2$ (د) همراه با آبشکن $L/B = 0.25$

در جریان تغییر می‌کند. با افزایش طول آبشکن، میزان تنگ‌شدگی مقطع افزایش یافته و این مسئله باعث زیاد شدن طول ناحیه جدایی جریان در بالادست آبشکن خواهد شد. که این افزایش طول ناحیه جدایشده، موجب انحراف بیشتر جریان به سمت دیواره مقابل شده و میزان فرسایش کناره در پیرامون آبشکن به طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت. شکل ۵ تاثیر تغییرات طول نسبی آبشکن را بر فرسایش کناره در محدوده بین آبشکن‌های مختلف (آبشکن اول و دوم، آبشکن دوم و سوم، آبشکن سوم و چهارم، آبشکن چهارم و پنجم) را نشان می‌دهد. همان‌گونه مشاهده می‌گردد در تمامی حالات در محدوده بین آبشکن‌ها، با افزایش نسبی طول آبشکن‌ها مقدار نسبی عقب‌نشینی کناره کاهش می‌یابد.

به عبارتی در بین طول‌های انتخابی برای آبشکن‌ها، آبشکن با طول بیشتر (۱۵ سانتی‌متر)، بیشترین تاثیر را در کاهش میزان عقب‌نشینی کناره داشته که با نتایج موسوی و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. همچنین مقایسه مقادیر نسبی عقب‌نشینی کناره در حالت حضور و عدم حضور آبشکن‌ها نشان می‌دهد که در حالت عدم حضور آبشکن‌ها، مقدار نسبی عقب‌نشینی کناره در عدد فرود ۰/۵۵ دارای بیشترین مقدار است.

تاثیر تغییرات طول نسبی آبشکن‌ها بر عقب‌نشینی کناره

از جمله عوامل مهمی که بر عقب‌نشینی کناره در پیرامون آبشکن‌ها تاثیرگذار است طول آبشکن است. با تغییر طول آبشکن پارامترهایی نظیر ابعاد ناحیه جدایی جریان و میزان انحراف ایجاد شده



شکل ۵- تاثیر تغییر طول نسبی آبشکن بر عقب‌نشینی کناره (الف) محدوده بین آبشکن اول و دوم (ب) محدوده بین آبشکن دوم و سوم (ج) محدوده بین آبشکن سوم و چهارم (د) محدوده بین آبشکن چهارم و پنجم

استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه از رابطه (۶) بدست آورد.

$$M = \left(\frac{A - P}{A} \right) * 100 \quad (6)$$

که در این رابطه M: درصد کاهش عقب‌نشینی کناره، A:

عقب‌نشینی کناره یکی از عوامل تاثیرگذاری است که می‌تواند در جهت انتخاب نوع آبشکن، به منظور حفاظت کناره رودخانه به ما کمک کند. به همین منظور می‌توان درصد کاهش عقب‌نشینی کناره، پیرامون آبشکن‌های سری T شکل را نسبت به حالت بدون آبشکن با

رابطه کلی برای تعیین عقب‌نشینی کناره

به منظور تخمین رابطه تجربی بین متغیرهای مختلف و تاثیر هر یک از پارامترهای بی بعد حاصل از آنالیز ابعادی بر میزان عقب‌نشینی کناره، از روش رگرسیون غیر خطی استفاده شد. برای بدست آوردن این رابطه، ابتدا ۷۵ درصد داده‌های حاصل از آزمایش به صورت تصادفی انتخاب شدند و سپس از ۲۵ درصد داده‌ها که قبلاً در ایجاد رابطه مورد استفاده قرار نگرفته بود نیز برای آزمون صحت سنجی استفاده شد. نتایج محاسبات نشان داد که رابطه (۷) می‌تواند برای تعیین میزان عقب‌نشینی کناره مورد استفاده قرار گیرد.

$$\frac{r_b}{y} = 20.43 (Fr)^{3.336} \left(\frac{L}{B}\right)^{0.194} (\beta)^{0.762} \quad (7)$$

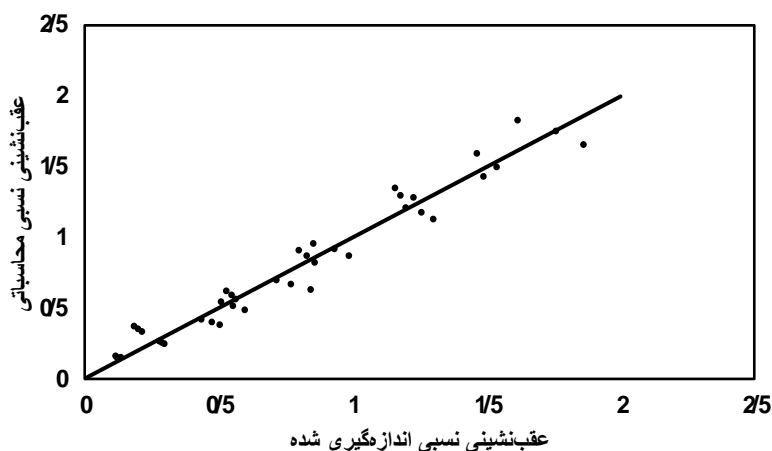
نتایج حاصل از تحلیل آماری سه پارامتر ضریب همبستگی (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برای رابطه پیشنهادی به ترتیب برابر ۰/۹۲۴، ۰/۰۹۷ و ۰/۱۲۷ بدست آمد. شکل ۶ مقایسه نتایج بین عقب‌نشینی کناره حاصل از داده‌های آزمایشگاهی با مقادیر بدست‌آمده از رابطه ۷ را نشان می‌دهد. با بررسی رابطه مزبور و توان هر یک از پارامترها مشخص می‌شود که عدد فرود و زاویه β بیشترین تاثیر را روی عقب‌نشینی کناره دارد. در واقع اثر پارامتر طول موثر نسبی نسبت به پارامتر دیگر کمتر است.

عقب‌نشینی کناره در حالت عدم حضور آبشکن و P: عقب‌نشینی کناره در حالت حضور آبشکن

بر اساس اطلاعات موجود در جدول ۲ می‌توان بیان کرد که به طور متوسط آبشکن‌های با طول ۱۵ سانتی‌متر دارای بیشترین درصد کاهش عقب‌نشینی کناره در محدوده بین آبشکن‌ها است. که این مسئله نشان دهنده عملکرد نسبتاً مناسب آبشکن با طول ۱۵ سانتی‌متر است.

جدول ۲- درصد کاهش عقب‌نشینی کناره در حالت آبشکن‌های سری

T شکل نسبت به حالت بدون آبشکن			
M _{ave} %	M %	L (cm)	Fr
	۳۲/۶	۹	۰/۴۱
۳۱/۷	۳۱/۷	۹	۰/۴۸
	۳۱/۰	۹	۰/۵۵
	۳۸/۲	۱۲	۰/۴۱
۳۵/۴	۳۳/۳	۱۲	۰/۴۸
	۳۴/۸	۱۲	۰/۵۵
	۷۶/۹	۱۵	۰/۴۱
۵۸/۰	۵۶/۸	۱۵	۰/۴۸
	۴۰/۳	۱۵	۰/۵۵



شکل ۶- مقایسه مقادیر عقب‌نشینی نسبی اندازه‌گیری شده و محاسباتی

ارزیابی و مقایسه روابط مختلف ارائه شده توسط دیگر محققان با رابطه بدست‌آمده از این پژوهش در جدول ۳ می‌توان بیان کرد که رابطه بدست‌آمده دقت نسبتاً خوبی برای پیش‌بینی عقب‌نشینی کناره برخوردار است.

در تحقیقات سایر محققین عمق آبستگي پیرامون آبشکن‌های سری در بستر مورد مطالعه قرار گرفته در حالی که در تحقیق حاضر عقب‌نشینی کناره بررسی شده است. با وجود اینکه شرایط آزمایش‌های انجام شده در تحقیقات پیشین متفاوت از پژوهش حاضر است، با

جدول ۳- ارزیابی آماری روابط مختلف ارائه شده توسط برخی از محققان با رابطه بدست آمده از تحقیق حاضر

R ²	RMSE	رابطه
۰/۹۲۴	۰/۱۲۷	تحقیق حاضر
۰/۹۳۹	۰/۲۳۹	(صانعی و صادق، ۱۳۸۸)
۰/۹۲۰	۰/۱۴۱	(Champour and Kashefipour, 2017)
۰/۹۸۵	۰/۰۰۸	(Divsalar and Mousavi-Jahromi, 2014)
۰/۹۷۲	۰/۰۴۲	(Yabarehpour and Kashefipour, 2015)

نتیجه گیری

در این پژوهش آزمایشگاهی، اثر طول آبشکن‌های سری T شکل بر کنترل فرسایش کناره در کانال پیچان‌رودی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که بهترین عملکرد در کاهش عقب‌نشینی هنگامی حاصل می‌شود که طول مؤثر آبشکن‌های سری برابر ۱۵ سانتی‌متر باشد. میانگین درصد کاهش عقب‌نشینی برای کلیه دبی‌ها در شرایط حضور آبشکن نسبت به شرایط عدم حضور آبشکن در حدود ۳۱/۷ تا ۵۸/۰ درصد می‌باشد. بیشترین مقدار عقب‌نشینی نسبی در محدوده بین آبشکن چهارم و پنجم عدد فرود ۰/۵۵ و طول ۹ سانتی متر رخ داده است. عقب‌نشینی نسبی با افزایش طول نسبی آبشکن و عدد فرود به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. همچنین با حرکت جریان به سمت قسمت انتهایی قوس، میزان عقب‌نشینی نسبی افزایش یافته، به طوری که بیشترین عقب‌نشینی نسبی مربوط به محدوده بین آبشکن چهارم و پنجم می‌باشد. مقایسه بین داده‌های آزمایشگاهی و رابطه ارائه شده نشان می‌دهد که همبستگی نسبتاً بالایی بین آنها برقرار است.

منابع

- Divsalar, I. and Mousavi-Jahromi, S. 2014. Investigation of the Effect of Increasing the Wing Length of the L – Shape Spur Dike on the Scouring Around in the 90 Degree Bend. *Irrigation Sciences and Engineering* 37(3): 53-6.
- Eghbali, P., Daneshfaraz, R. and Sagheblian, S.M. 2013. Simulation of temporal development of scour hole around a wing-wall abutment using gene expression programming. *Water Soil Sci.* 23(1): 177-188.
- Hashemi Najafi, S.F.A., Ayoubzadeh, S.A. and Dehghani, A.A. 2008. Experimental investigation of scouring around L-head groynes under clear water condition. MSc Thesis. Tarbiat Modares University. 156 pages.
- Jalili, M., Bakhtiari, M., Kashefipour, S.M. and Shahn-Karmzadeh, 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.
- Masjedi, A., Akbari, I. and Abyar, H. 2011. Evaluating scour at L-shape spur dike in a 180 degree bend. *World Applied Sciences Journal* 15(12): 1740-1745.
- Mehraein, M., Ghodsian, M., Mashizi, M.K. and Vaghefi, M. 2017. Experimental study on flow pattern and scour hole dimensions around a Tshaped spur dike in a channel bend under emerged and submerged conditions. *International Journal of Civil Engineering* 15(7): 1019-1034.
- Mehrnahad, A. 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-degree bend. *J. Iran-Water Resour. Res.* 8(2): 71-79.
- Mosavi, B.S., Saneie, M., Salajegheh, A. and Motamed-Vaziri, B. 2010. Experimental Investigation of Groyne Length Effect on River Bank Erosion Reduction. *Jwmseir* 4(12): 65-68.
- Nayer, S., Farzin, S., Karami, H. and Rostami, M. 2019. Experimental investigation on scour depth around T-shaped spur dike influenced by upstream and downstream spur dikes. *Watershed Engineering and Management* 11(3): 739-749.
- Perdok, U.H. 2002. Application of timber groynes in
- صانعی، م و صادق، ن. ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی بهینه‌سازی طول آبشکن اول در کاهش آبستتگی موضعی. اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیر ساخت‌ها. آبان‌ماه، دانشگاه تهران.
- Abbasi, A. and Maleknejad, M. 2012. Experimental Investigation the Effect of Geometry Parameters of Straight and T Shape Gabion Groynes on Local Scouring. *Irrigation and Water Engineering* 2.4: 95-107.
- Champour, M. and Kashefipour, S. 2017. Experimental Study on Effects of Permeability and Spur Dike Series Length on Scour-Hole Dimensions in a 90° mild bend under non-submerged conditions. *Irrigation Sciences and Engineering* 40. 3: 35-48.
- Dehghani, A.A., Barzali, M., Fazloulou, R. and Zea Tabar-Ahmadi, M. 2009. Experimental study of scouring around a series of L-head groynes. *Journal of Water and Soil Conservation* 16. 3: 141-162.

2009. Implementation of spur dike to reduce bank erosion of temporary diversion channels during barrages construction. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3.4: 3190-3205.
- Vaghefi, M., Ghodsian, M. and Akbari, M. 2017. Experimental investigation on 3D flow around a single T-shaped spur dike in a bend. *Period. Polytech. Civil Eng.* 61(3): 462-470.
- Yabarehpoor, E. and Kashefipour, S. 2015. Comparison of Bed Topography for the Permeable and Impermeable Spur Dikes Group. *Irrigation Sciences and Engineering* 37(4): 77-86.
- Zare, M. and Honar, T. 2016. The Effect of groyne on reduction of the scour depth around bridge piers in river bends. *Journal of Water and Soil Science* 19(74): 167-192.
- Zhang, H. and Nakagawa, H. 2008. Scour around spur dykes: Recent advances and future researches, *Annals of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*. 51. Part B: 171-188.
- coastal engineering. M.Sc. Thesis. TU delft university of Technology.
- Richardson, E.V., Stevens, M.A. and Simons, D.B. 1975. The design of spurs for river training. *Proc. 16th Congress, IAHR, Basil*, pp. 382-388.
- Saadatnia, M., Khodashenas, S., Saneie, M. and Esmaili, K. 2018. Experimental Model for Studying the Spur Dike Effect on Bridge Abutment Scour in Compound Channel. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage* 12(4): 763-774.
- Shahabi, M and Kashefipour, S. 2016. Experimental Investigation of the Effect of the Permeable Spur Dikes on Scour Whole Dimensions in a Mild 90 Degree Bend. *Irrigation Sciences and Engineering* 39(4): 13-21.
- Shojaeian, Z., Kashefipour, S., Mosavi Jahromi, S. and Shafae Bajestan, M. 2015. Experimental Study on The Local Scouring of Series of Bandal-Like spurs in Clear Water Condition. *Irrigation Sciences and Engineering* 38(2): 21-32.
- Talaat, A., Attia, K., Elsaed, G. and Ibraheem, M.

Experimental Investigation of the Effect of Series Length of T-Shaped Spur Dikes on the Control of Bank Erosion in non-Submerged Conditions in the Meandering Channel

P. Esmaeli¹, S. Boudaghpour², M. Rostami*³, M. Mirzaee⁴

Received: Feb.12, 2020

Accepted: Mar.09, 2020

Abstract

The use of spur dikes is one of the most common methods for controlling bank erosion and protecting river shores. In fact, the presence of the spur dikes causes the modification of hydraulic flow conditions as well as the reduction of water erosion power at the distance of two spur dike that eventually causes the sedimentation and stabilization of the river banks. In this study, we investigated the effect of T-shaped spur dikes on erosion control by constructing a laboratory channel of meandering and using five spur dike. The experiments were conducted by taking three effective lengths three different Froude numbers in impermeable and non-submerged conditions. The results of this study indicate that with the increase of the length of the spur dikes, the retreat rate has decreased. For the length of 9, 12 and 15 cm respectively, about 31.7, 35.4 and 58.0 percent of the mean retreat of the bank compared to the state without the spur dike decreased. In this study, three criteria R^2 , RMSE and MAE were used to compare the data obtained from the formula and the laboratory data, the amount of these indices were estimated 0.924, 0.127 and 0.097, respectively.

Keywords: Bank erosion, Experimental investigation, Length of spur dike, T-Shape spur dike

1- Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

3- Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

4- Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: Rostami@scwmri.ac.ir)