

مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی پیرامون آبشکن ساده تحت تأثیر آبشکن‌های مجاور

شهاب نیر^۱، حجت کرمی^{۲*}، سعید فرزین^۳، محمد رستمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۲۱

چکیده

فرسایش کناره‌های رودخانه‌ها و سواحل از مهم‌ترین دغدغه‌های مهندسی علم هیدرولیک است. استفاده از آبشکن‌ها، از جمله روش‌هایی است که به کنترل و کاهش فرسایش کمک می‌کند. آبشکن‌ها به صورت نفوذپذیر و نفوذناپذیر استفاده می‌شوند که آبشکن‌های I شکل (ساده)، L شکل و T شکل از جمله آبشکن‌های نفوذناپذیر هستند. در این پژوهش آزمایشگاهی، بهینه کردن میزان فرسایش آبشکن‌های سری ۳ تایی با آبشکن ساده در موقعیت اول و استفاده از هندسه‌های مختلف در جایگاه دوم و سوم مطالعه شده است. هم‌چنین بهترین ترکیب جهت بهینه شدن میزان فرسایش معرفی شده است. آزمایش‌ها در شرایط آستانه حرکت بستر متحرک، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عمق آبشستگی متوسط آبشکن I شکل در موقعیت اول در حدود ۲/۷۷ (y: عمق جریان) است. بهترین و بهینه‌ترین عملکرد در بین تمام ترکیب‌ها، مربوط به ترکیب (I T L) است. این سری بهترین ترکیب برای حداقل کردن آبشستگی آبشکن با هندسه ساده (I) در جایگاه اول، عمق آبشستگی متوسط و حجم آبشستگی کل بستر فرسایش‌پذیر است. متوسط فرسایش در مقطع طولی میانی کانال برای این ترکیب در حدود ۰/۰۲۷ است، که نشان دهنده آن است که ترکیب (I T L) علاوه بر کناره، در میانه کانال نیز عملکرد مناسبی دارد.

واژه‌های کلیدی: آبشکن ساده، آبشکن‌های سری ترکیبی، ترکیب بهینه، عمق آبشستگی

مقدمه

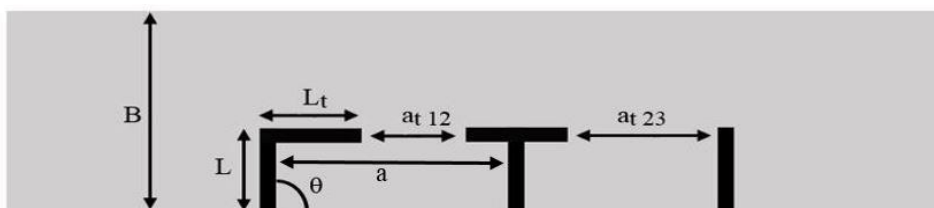
آن است. آبشستگی یک پدیده طبیعی است که در اثر انتقال جریان آب و رسوب در یک کانال و یا تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی نظیر ساخت و ساز در محدوده کانال و یا برداشت مصالح از بستر اتفاق می‌افتد. از دیدگاه کلی، آبشکن‌ها در دو گروه عمده شامل آبشکن باز (نفوذپذیر^۱) و بسته (نفوذناپذیر^۲) طبقه‌بندی می‌شوند. آبشکن‌های نفوذناپذیر دارای شکل‌های مختلفی نظیر آبشکن ساده، L شکل و T شکل می‌باشند. هر یک از این آبشکن‌ها دارای ویژگی‌های خاص خود هستند که نسبت به سایر شکل‌ها آن‌ها را متمایز می‌کند. آبشکن‌ها در طبیعت عموماً برای حفاظت کناره‌ها به صورت سری آبشکن‌ها استفاده می‌شوند. عوامل هندسی مهم در این سازه‌ها طول آبشکن (L)، نسبت ابعاد باله و جان آبشکن (L/t)، زاویه قرارگیری نسبت به جریان (θ)، فاصله آبشکن‌ها (a) و فاصله نوک باله (at) هستند؛ این عوامل در شکل ۱ مشخص شده‌اند.

مهم‌ترین عاملی که پایداری آبشکن‌ها را تهدید می‌کند آبشستگی اطراف آن‌هاست که این آبشستگی برای شکل‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. با توجه به هندسه‌های مختلفی که برای آبشکن‌های نفوذناپذیر وجود دارد، اندرکنش‌های بین سیال و بستر فرسایش‌پذیر در اطراف آن‌ها نیز متفاوت است. این تفاوت، عامل اصلی در نحوه به-کارگیری این آبشکن‌ها می‌باشد.

جریان در کانال‌های باز با بستر متحرک معمولاً با انتقال رسوب همراه است. این انتقال می‌تواند منجر به ایجاد فرسایش در بستر و کناره‌های فرسایش‌پذیر کانال‌ها و رودخانه‌ها شود که خسارات مختلفی را در پی دارد. بنابراین همواره محققین در تلاش هستند تا این فرسایش در مجاری باز را کنترل کرده و یا کاهش دهند. از روش‌های حفظ کناره‌ها و هم‌چنین سامان‌دهی و تثبیت آن، استفاده از سازه آبشکن است. آبشکن‌ها از جمله سازه‌های حفاظتی می‌باشند که می‌توان برای دور ساختن جریان از ساحل و حواشی آسیب‌پذیر رودخانه از آن‌ها استفاده نمود. آبشکن‌ها با تعدیل شرایط هیدرولیکی و ایجاد جریان آرام، قدرت فرسایشی آب و توان حمل مواد رسوبی را کاهش داده و زمینه مساعدی برای رسوب‌گذاری و تثبیت کناره‌ها فراهم می‌آورند. از مشکلات استفاده از این سازه، آبشستگی پیرامون

- ۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
 - ۲- استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
 - ۳- استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
 - ۴- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
- (*)-ایمیل نویسنده مسئول: (Email: hkarami@semnan.ac.ir)

4- Permeable spur dike
5- Impermeable spur dike



شکل ۱- پارامترهای هندسی مهم در آبشکن‌های سری

همکاران، تأثیر آبشکن T شکل در خم را مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که جریان ثانویه از ۳۰ درجه آغاز شده و تا ۶۵ درجه به صورت کاهشی ادامه دارد. همچنین، گردابه و جریان معکوس در بالادست و پایین دست آبشکن و تغییرات جریان ثانویه در این مطالعه بررسی شد (Vaghefi et al., 2017). کومار و همکاران آبخستگی اطراف آبشکن‌های ساده و T شکل را بررسی کردند. ایشان در نتایج خود بیان داشتند که آبشکن T شکل در حفاظت از بستر و همچنین کاهش عمق آبخستگی و خرابی‌های سازه‌های آبی موثرتر است. بنابراین جاهایی که سازه‌های آبی باید حفاظت شود آبشکن T شکل پیشنهاد می‌شود و آبشکن ساده باید در مواقعی که انحراف و جابجایی جریان اهمیت دارد استفاده شود. علت این امر نیز هزینه بیش‌تر ساخت آبشکن T شکل بیان شده است (Kumar et al., 2018).

گونوان و پودیپراستیا در مطالعات میدانی خود بر روی ساحل "سانور بالی"، گسترش و تغییرات ساحل را تحت اثر وجود آبشکن ساده شبیه‌سازی کردند. در این تحقیق تأثیر وجود آبشکن در کناره‌های ساحل در بازه‌های زمانی مختلف بررسی شد که نشان دهنده ترسیب خوب رسوب در بین آبشکن‌های ساده است که به خوبی توانسته از کناره‌ها محافظت کند. همچنین شبیه‌سازی تغییرات خط ساحلی نشان دهنده انطباق خوب نتایج آن با نتایج تصاویر گوگل ارث است (Gunawan and Pudjaprasetya., 2018). در تحقیقی دیگر، وافقی و همکاران، شرایط جریان را در اطراف آبشکن T شکل، با توجه به سازه‌های محافظ، بررسی کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که حداکثر تنش برشی بستر برای سازه محافظ در حالت‌های جاذب و دافع به ترتیب ۲۳/۵ درصد و ۱۷/۶ درصد نسبت به حالت عمود افزایش یافت. همچنین، قدرت جریان ثانویه در نزدیکی آبشکن اصلی برای زوایای کمتر از ۱۵ درجه حالت‌های جاذب و دافع نسبت به حالت عمود به ترتیب ۲۴ درصد و ۱۴/۵ درصد افزایش یافت. این مقادیر برای زوایای ۲۰ تا ۳۰ درجه در حدود ۱۴/۶ درصد و ۱۵/۵ درصد کاهش می‌یابد (Vaghefi et al., 2018).

کرمی و صانعی (۱۳۸۴) با انجام آزمایش‌هایی، نسبت طول آبشکن فرعی به آبشکن اول را ۰/۵ تا ۰/۵۸ آبشکن اول و مناسبت ترین فاصله آبشکن اصلی از فرعی را ۱/۵ تا ۲ برابر طول آبشکن اول توصیه کردند. اقبالی و همکاران (۱۳۹۲) روند توسعه زمانی ابعاد حفره آبخستگی اطراف آبشکن بالدار را بررسی و روابطی

با توجه به اهمیت این سازه و کارکرد آن در رودخانه و کناره‌ها، مطالعات چندی توسط محققین انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. کرمی و همکاران، جهت کاهش عمق آبخستگی آبشکن‌های سری، از یک آبشکن محافظ در بالادست استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در شرایطی که آبشکن محافظ به درستی طراحی شود قادر خواهد بود تا متوسط حداکثر عمق آبخستگی را در آبشکن‌های سری کاهش دهد (Karami et al., 2011). در پژوهشی دیگر، کرمی و همکاران، آبخستگی اطراف آبشکن‌های سری ساده را بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که ۸۰ درصد آبخستگی‌ها در ۲۰ درصد اول زمان آزمایش رخ می‌دهد (Karami et al., 2014). سادات و تومیناگا با بررسی فاصله بهینه آبشکن و گروه شمع‌ها در بالادست، جهت کاهش آبخستگی، گزارش دادند که وقتی فاصله گروه شمع‌ها از صفر به چهار برابر طول آبشکن افزایش یابد، حجم و عمق آبخستگی موضعی کاهش می‌یابد و سرعت جریان در دماغه آبشکن حداکثر خواهد بود. فاصله صفر در این تحقیق این‌گونه تعریف شده است که گروه شمع‌ها و آبشکن‌ها دقیقاً به یکدیگر چسبیده باشند (Sadat and Tominaga., 2015). لی و جانگ، اثر فاصله بین آبشکن‌های سری بر آبخستگی بستر و الگوی جریان را مورد تحقیق قرار دادند و بیان داشتند که عمق آبخستگی در حالت تعادل دینامیک ثابت است و عمق آبخستگی بی‌بعد با زیاد شدن فاصله، افزایش می‌یابد (Lee and Jang., 2016). لودهی و همکاران شرایط آبخستگی اطراف آبشکن در ترکیبات خاک چسبنده رس-شن و مخلوط رس-ماسه-شن را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد در هر دو حالت بیش‌ترین عمق آبخستگی در پایین‌دست آبشکن مشاهده می‌شود. همچنین بیان داشتند که با افزایش حجم رس در مخلوط خاک چسبنده، میزان آبخستگی کاهش می‌یابد. مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی عمق آبخستگی نیز حاکی از تطابق بالای نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی بود (Lodhi et al., 2017). در تحقیقات مهرآیین و همکاران، آبخستگی اطراف آبشکن T شکل در شرایط مستغرق و غیرمستغرق مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که نسبت طول آبشکن به متوسط اندازه رسوبات، بر ابعاد حفره آبخستگی اثر ثانویه دارد. همچنین، رابطه‌ای جهت پیش‌بینی ابعاد حفره آبخستگی با توجه به نسبت استغراق و سایر عوامل موثر ارائه کردند (Mehraein et al., 2017). وافقی و

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

پارامترهای متعددی، از جمله پارامترهای هندسی، مشخصات سازه‌ها، هیدرولیک جریان، ویژگی‌های سیال و رسوب بستر در عملکرد آبشکن‌ها، پدیده آبستگي و رسوب‌گذاری جهت حفاظت سواحل موثر می‌باشند. به منظور یافتن رابطه بین عوامل موثر بر آبستگي در دماغه سری آبشکن‌ها، تحلیل ابعادی روی پارامترهای موثر انجام شده است. از جمله عوامل موثر در این زمینه طبق رابطه ۱ عبارتند از:

$$f(B, L, a, L_t, a_t, \sigma_g, d_{50}, y, d_s, u, u_{cr}, \rho_s, g, \rho_w, K_s) = 0 \quad (1)$$

که در آن B عرض کانال، L طول جان آبشکن، a فاصله اصلی آبشکن‌ها، L_t طول بال آبشکن، a_t فاصله فرعی آبشکن‌ها، σ_g انحراف معیار ذرات بستر، d_{50} قطر متوسط ذرات بستر، y عمق جریان، d_s بیش‌ترین عمق آبستگي، u سرعت متوسط جریان، u_{cr} سرعت بحرانی، ρ_s جرم مخصوص رسوبات، ρ_w جرم مخصوص آب، g شتاب ثقل و K_s ضریب شکل آبشکن می‌باشد. با حذف پارامترهایی که در این پژوهش ثابت فرض شده‌اند و همچنین پارامترهایی که از اهمیت کم‌تری برخوردارند، رابطه ۲ حاصل می‌شود.

$$\frac{ds}{y} = f(a_t, K_s) \quad (2)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در رابطه ۲ نسبت ds بیش‌ترین عمق آبستگي به y عمق جریان تابعی از a_t فاصله فرعی آبشکن‌ها و K_s ضریب شکل آبشکن‌ها است. با توجه به اثر این پارامترها بر آبستگي آبشکن‌ها، مقایسه تأثیر هندسه‌های مختلف با هدف حداقل کردن، حداکثر عمق آبستگي آبشکن اول و عمق آبستگي متوسط انجام می‌گیرد.

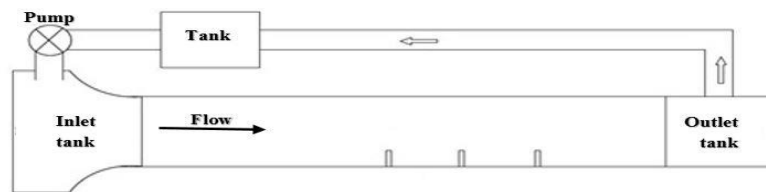
تجهیزات آزمایشگاهی

جهت انجام آزمایش‌ها از یک فلوم به طول ۱۴ متر و عرض ۱/۵ متر و ارتفاع ۰/۶ متر واقع در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی استفاده شده است (شکل ۲). هم‌چنین قطر متوسط رسوب برابر با $D_{50}=1\text{mm}$ و انحراف معیار هندسی رسوب بستر برابر با $\sigma_g=1.41$ است، که در انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. آبشکن‌ها، از جنس پلکسی‌گلاس ساخته شده و ابعاد آن‌ها ۳۵ سانتی‌متر برای جان آبشکن‌ها (L) و ۳۵ سانتی‌متر برای باله (L_t) در نظر گرفته شد. فاصله جان آبشکن‌های سری، سه برابر طول آبشکن است.

جهت پیش‌بینی آن‌را به کردند. نتایج این بررسی نشان داد که قسمت اعظم آبستگي در بستر ماسه‌ای و بستر شنی در زمان‌های اولیه اتفاق می‌افتد.

امیربهادری (۱۳۹۴) در تحقیقات آزمایشگاهی خود روی تأثیر طول بر عمق آبستگي در دو آبشکن متوالی نشان داد که با افزایش طول آبشکن، عمق آبستگي به میزان ۶۲/۵ درصد در آبشکن اول و ۱۷/۹ درصد در آبشکن دوم افزایش می‌یابد. در تمامی آزمایش‌ها، آبشکن اول سبب کاهش آبستگي در آبشکن دوم شده است و به‌عنوان یک محافظ برای آبشکن دوم عمل می‌کند. جراح‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن‌های نفوذناپذیر، نفوذپذیر و آبشکن باندال لایک^۱ را در شرایط مستغرق بر آبستگي بستر بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که میزان حداکثر عمق آبستگي در آبشکن نفوذناپذیر در زاویه ۹۰ درجه و در آبشکن نفوذپذیر و باندال دایک در زاویه ۱۲۰ درجه اتفاق می‌افتد. چام‌پور و کاشفی (۱۳۹۶) اثر نفوذپذیری و طول سری آبشکن‌ها بر ابعاد چاله آبستگي در قوس ۹۰ درجه را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان بیان کردند که افزایش نفوذپذیری در عدد فرود ثابت، باعث کاهش ابعاد چاله آبستگي می‌شود. به طوری که در آبشکن به طول ۱۴ سانتی‌متر، با بیش‌تر شدن نفوذپذیری از صفر درصد به ۳۳ درصد، عمق، طول و عرض چاله آبستگي به ترتیب ۵۹/۸، ۴۷/۹ و ۳۸/۶ درصد کاهش می‌یابد. جلیلی و همکاران (۱۳۹۶) اثر استغراق بر آبشکن باندال دایک در قوس ۹۰ درجه را بررسی کردند. نتیجه کار ایشان نشان داد که با افزایش میزان استغراق، آبستگي اطراف سازه نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین، مشخص کردند که موقعیت آبستگي با الگوی تنش برشی در قوس‌های ملایم مطابقت دارد.

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تاکنون موضوع آبستگي پیرامون آبشکن‌های سری سه‌تایی با ترکیب‌های مختلف و لحاظ تأثیر آبشکن پایین دست بر مقدار آبستگي آبشکن اول، مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین، در این پژوهش آزمایشگاهی، با در نظر گرفتن آبشکن I شکل (ساده) در اول سری ۳ تایی آبشکن‌ها، اثر حضور آبشکن‌های I، L و T شکل در ترکیب‌های مختلف در پایین‌دست آبشکن اول بررسی شده است. در این راستا، با انجام آزمایش‌های متفاوت، حجم و عمق آبستگي در اطراف آبشکن I شکل اول و بستر فرسایش‌پذیر اندازه‌گیری شد در ادامه، نتایج جهت یافتن ترکیب بهینه با توجه به آبشکن اول مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.



شکل ۲- پلان فلوم آزمایشگاهی و موقعیت قرارگیری آبشکن‌ها

ترکیب‌های مختلفی از آبشکن‌های ساده، L و T شکل به صورت سری سه تایی در آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. در همه این ترکیب‌ها، آبشکن اول، I شکل بوده است. در جدول ۱، ۹ ترکیب مورد استفاده در آزمایش‌های این پژوهش ارایه شد. به طور مثال، ترکیب T7 یعنی آبشکن I شکل در موقعیت اول، آبشکن T در موقعیت دوم و آبشکن I شکل در موقعیت سوم است. نحوه قرارگیری آبشکن‌ها در فلوم آزمایشگاهی برای یکی از ترکیب‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. جهت بررسی ترکیب‌های مختلف در شرایطی که بیش از ۸۵ درصد از آبشستگی رخ داده باشد، آزمایش شاهد ۳۰ ساعته برای سری (I I I) انجام شد و تغییرات عمق آبشستگی در زمان‌های مختلف ثبت گردید. بر اساس شکل ۴، نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که ترکیب (I I I) در مدت ۱۵ درصد زمان تعادل به بیش از ۸۵ درصد عمق تعادلی خود رسیده است. این مقادیر به نتایج بررسی تغییرات آبشستگی اطراف آبشکن ساده توسط کرمی و همکاران، نزدیک است. ایشان بیان داشتند که ۷۰ تا ۹۰ درصد عمق آبشستگی در ۲۰ درصد اولیه زمان آزمایش ایجاد می‌شود (karami et al., 2012). بنابراین با توجه به زمان آزمایش شاهد انجام شده، مدت ۵ ساعت جهت انجام همه آزمایش‌ها و ترکیب‌های مختلف در نظر گرفته شد تا بیش از ۸۵ درصد آبشستگی نهایی در ترکیب‌ها حاصل شود.

نتایج و بحث

هدف از انجام آزمایش‌ها، بررسی و مقایسه عمق و حجم آبشستگی در اطراف آبشکن‌های سری سه تایی با آبشکن ساده در جایگاه اول همه ترکیب‌ها می‌باشد. جدول ۲ نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول d_{s1} ، d_{s2} و d_{s3} به ترتیب بیش‌ترین عمق آبشستگی در آبشکن‌های اول، دوم و سوم هستند. با توجه به نتایج جدول ۲ مشخص است که تغییر هندسه آبشکن‌ها در جایگاه‌های دوم و سوم تأثیر قابل توجهی بر عمق آبشستگی متوسط ترکیب‌ها و همچنین بر عمق آبشستگی آبشکن اول دارد. این تأثیر و تفاوت می‌تواند به دلیل شکل‌های مختلف آبشکن‌های پایین دست باشد. بنابراین، نتایج بر اساس عمق آبشستگی هر موقعیت، عمق آبشستگی متوسط هر ترکیب و حجم آبشستگی بستر، مورد بررسی قرار داده می‌شود.

برای اندازه‌گیری تغییرات بستر و همچنین عمق آبشستگی از دستگاه بسترسنج^۱ دیجیتالی ساخت موسسه دلفت^۲ هلند استفاده شده است. با حرکت این دستگاه در راستای طول و عرض، عمق نقاط مورد نظر بدون برخورد حسگر با بستر فرسایش‌پذیر اندازه‌گیری شد و نتایج ثبت گردید. دقت اندازه‌گیری این دستگاه یک میلی‌متر است. برای ایجاد شرایط جریان در حالت آستانه حرکت ($U/U_{cr}=0.95$)، دبی مورد استفاده در تمام آزمایش‌ها ۲۸/۵ لیتر بر ثانیه و عمق جریان ۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. دبی به کار برده شده در پژوهش حاضر با توجه به شرایط آستانه حرکت ذرات بستر، ابعاد کانال و عمق مورد نیاز جهت انجام آزمایش‌ها، با استفاده از راهنمای نشریه ۵۴۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور تعیین شد. همچنین، آبشکن‌ها در طولی قرار داده شده‌اند که جریان توسعه یافته باشد. برای محاسبه طول جریان توسعه یافته از رابطه ۳، که توسط کرک‌گوز و آردیچلی‌اوغلو برای جریان در کانال‌های باز ارایه شده است، استفاده گردید (Kirkgoz and Ardichoglu., 1997).

$$L/Y = 76 - 0.0001 * Re / Fr \quad (3)$$

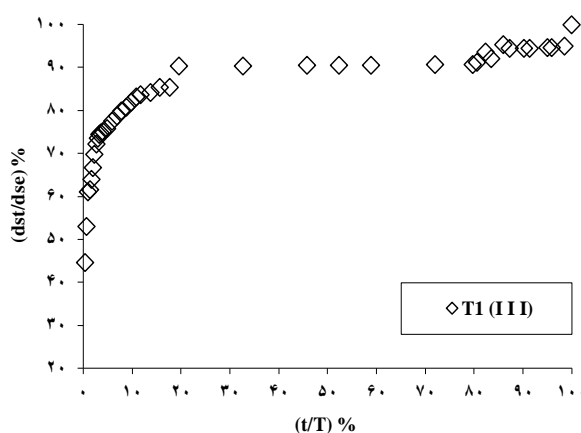
که در آن L طول جریان توسعه یافته است. بر اساس شرایط حاکم بر آزمایش‌ها و با استفاده از رابطه ۳، طول توسعه یافته جریان حدود ۳/۵ متر به دست آمد. محدوده انجام آزمایش‌ها جهت اطمینان بیش‌تر در فاصله ۴ متری از ابتدای رسوبات کف و در فاصله ۷ متری از ابتدای کانال در نظر گرفته شد. پارامترهای هندسی آبشکن‌ها در شکل ۱ مشخص شده است، که در آن $L_t / L = 1$ و $a = 3\%$ می‌باشد. این نسبت‌ها با توجه به مطالعات محققین پیشین و ارایه مقادیر بهینه توسط ایشان انتخاب گردید. برای انجام آزمایش‌ها در شرایط آب زلال، ابتدا بستر از پایین دست کانال به صورت کامل اشباع شده و بعد از آن جریان به آرامی وارد فلوم آزمایشگاهی شد. بعد از بالا آمدن عمق جریان و ثابت شدن دبی مورد نیاز، ارتفاع درپچه کنترل عمق در پایین دست به آرامی تغییر داده شد تا عمق ۶ سانتی‌متر در کانال ایجاد شود. با ثابت شدن عمق و دبی جریان، آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها آغاز شد که تغییرات آن نیز به صورت منظم برداشت و ثبت شد.



شکل ۳- آبخش‌های مورد استفاده در یکی از ترکیب‌ها

جدول ۱- نحوه چیدمان آبخش‌های سری ۳ تایی

SD ₃	SD ₂	SD ₁	Test No.
I	I	I	T1
L	I	I	T2
T	I	I	T3
I	L	I	T4
L	L	I	T5
T	L	I	T6
I	T	I	T7
L	T	I	T8
T	T	I	T9



شکل ۴- درصد نسبی عمق آبخستگی با توجه به درصد نسبی زمان آبخستگی

جدول ۲- عمق و حجم آبخستگی آبخش‌های ترکیب‌های مختلف نسبت به عمق جریان

V (m ³)	ds _{s,ave} /y	ds ₃ /y	ds ₂ /y	ds ₁ /y	Model	No.
۰/۰۸۷	۱/۸۲	۱/۱۸	۱/۲۸	۳	III	T1
۰/۰۷۵	۱/۵۷	۰/۷۵	۱/۲۸	۲/۶۸	IIL	T2
۰/۰۷۵	۱/۴۵	۰/۳۵	۱/۳۲	۲/۶۸	IIT	T3
۰/۰۷۴	۱/۵۰	۰/۶۸	۱/۲۰	۲/۶۲	ILI	T4
۰/۰۷۱	۱/۳۷	۰/۳۵	۱/۱۸	۲/۵۸	ILL	T5
۰/۰۷۳	۱/۳۷	۰/۱۸	۱/۲۲	۲/۷۰	ILT	T6
۰/۰۶۸	۱/۴۲	۰/۹۲	۰/۷۳	۲/۶۰	ITI	T7
۰/۰۶۶	۱/۳۳	۰/۶۳	۰/۷۳	۲/۶۳	ITL	T8
۰/۰۶۷	۱/۲۹	۰/۵۰	۰/۷۰	۲/۶۸	ITT	T9

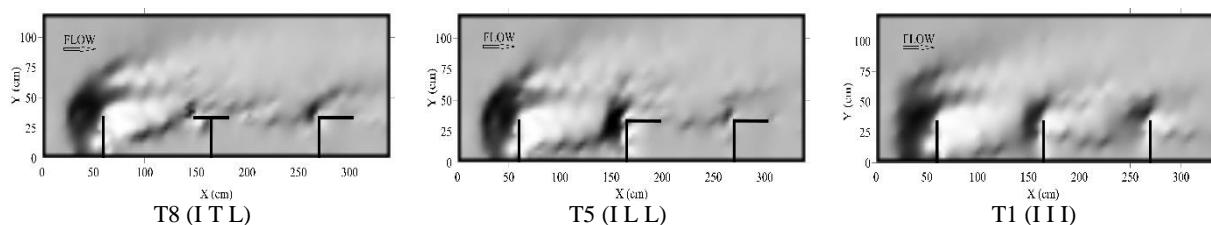
ds_{s,ave} عمق آبخستگی متوسط، V حجم فرسایش و y عمق جریان

عمق آبخستگی موضعی در آبخش‌ها

بر اساس آنچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، آبخش ساده در موقعیت اول در حدود ۲/۷y آبخستگی دارد (y : عمق جریان). هنگامی که آبخش L شکل و T شکل در پایین دست آبخش ساده و

در موقعیت دوم به کار رفته است، آبخش ساده در موقعیت اول کم‌ترین متوسط عمق آبخستگی را دارد. به طوری که در ترکیب‌های T1، T2 و T3 که آبخش ساده در موقعیت دوم است، به طور متوسط عمق آبخستگی نسبی ۲/۷۹y می‌باشد، در ترکیب‌های T4، T5 و T6

۱۴ و ۱۲ درصد از عمق آبستگي آبشكن ساده اول در تركيب T1 (III) كاسته مي‌شود. شكل ۵ تغييرات بستر را براي تركيب‌هاي شاهد و بهينه با توجه به عمق آبستگي موضعي نشان مي‌دهد. محدوده‌هاي رسوب‌گذاري و فرسايش در بين آبشكن‌ها و اطراف آن‌ها كاملا مشخص است. شكل كلي آبستگي موضعي و رسوب‌گذاري در اطراف آبشكن اول يكسان، اما مقادير عمق آبستگي متفاوت است. نکته قابل توجه در محدوده بين آبشكن‌هاي دوم و سوم، شكل رسوب‌گذاري در اين ناحيه است. به طوري كه در تركيب‌هاي T5 و T8 فضاي بين آبشكن‌ها با وجود فضاي رسوب‌گذاري ايجاد شده به هيچ وجه دچار فرسايش نشده است. بنا بر اين عامل ديگري كه در انتخاب تركيب بهينه اهميت دارد، ميزان عمق آبستگي متوسط و حجم آبستگي است.



شكل ۵- رسوب‌گذاري و فرسايش در محدوده آبشكن‌ها

فرسايش تركيب‌هاي مختلف (بهينه) براي آبشكن در مقطع مياني در شكل ۷ نشان داده شده است. روند تغييرات فرسايش در تركيب‌هاي مختلف يكسان است؛ اما مقدار آن متفاوت است. تركيب T1 بيش‌ترين عمق آبستگي و كم‌ترين ارتفاع رسوب‌گذاري را دارد. تفاوت بزرگ تركيب T1 با ساير آبشكن‌هاي سري بهينه آن است كه حجم رسوب‌گذاري اين تركيب بسيار كم است. اين در حالي است كه ساير تركيب‌ها از محل آبشكن دوم به بعد داراي رسوب‌گذاري هستند. در بين همه سري‌ها، تركيب T8 داراي مقداري متوسط در ميزان آبستگي و رسوب‌گذاري است كه اين ميانه بودن كمك زيادي به بهينه بودن آن مي‌كند. در واقع، با استفاده از تركيب T8 مي‌توان ميزان آبستگي حداقل براي آبشكن اول، عمق آبستگي متوسط مناسب و هم‌چنين حداقل حجم فرسايش در كل بستر را داشت. علت مناسب بودن اين تركيب مي‌تواند وجود حداقل يك زبانه در محدوده بين دو آبشكن متوالي و کاهش فاصله a باشد.

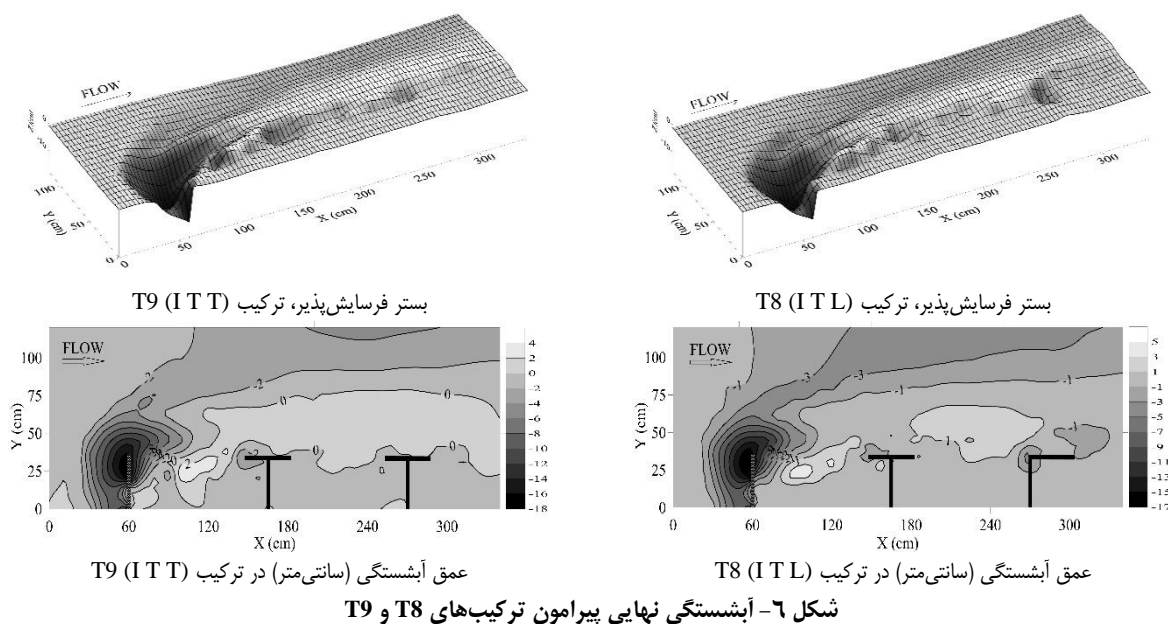
با آبشكن L شكل در موقعيت دوم، اين نسبت در حدود $2/63y$ و براي تركيب‌هاي T7، T8 و T9 با آبشكن T شكل در موقعيت دوم، برابر با $2/64y$ است. هم‌چنين، براي موقعيت سوم نيز در تركيب‌هاي كه آبشكن L شكل حضور داشت، آبشكن ساده در جايگاه اول كم‌ترين متوسط عمق آبستگي را داشت. به نحوي كه در زمان حضور آبشكن L در اين موقعيت، عمق آبستگي آبشكن اول $2/63$ برابر عمق جريان است. اين در حالي است كه با وجود آبشكن T شكل در موقعيت سوم عمق آبستگي براي آبشكن ساده اول در حدود $2/69$ برابر عمق جريان است.

بنابراين بهترين هندسه از آبشكن‌ها براي موقعيت دوم جهت کاهش آبستگي آبشكن ساده اول، آبشكن L يا T شكل و براي موقعيت سوم نيز آبشكن L شكل است. به طوري كه در صورت استفاده از تركيب‌هاي T5 (ILL) و T8 (ITL) به ترتيب در حدود

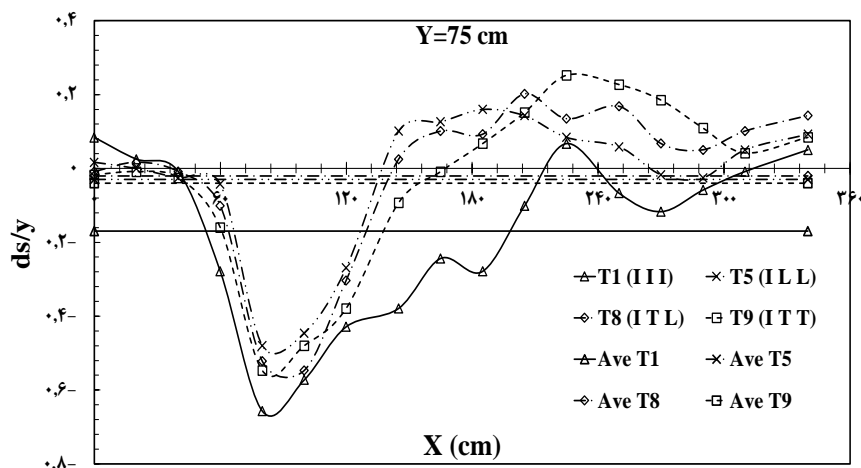
عمق آبستگي متوسط و حجم فرسايش

با توجه به جدول ۲ مشاهده مي‌شود كه تركيب T9 (ITT) با $1/29y$ كم‌ترين متوسط عمق آبستگي را در بين تركيب‌ها دارد. اين مقدار حداقل به دليل وجود آبشكن T شكل در موقعيت دوم و سوم مي‌باشد كه عمق آبستگي در اين موقعيت‌ها به ترتيب در حدود $0/7y$ و $0/5y$ است كه به علت هندسه خاص اين آبشكن است. تركيب‌هاي T8 با $1/33y$ و T5 و T6 با $1/37y$ داراي كم‌ترين مقدار متوسط عمق آبستگي هستند. بنا بر اين تركيب T5، T8 و T9 با توجه به عمق آبستگي موضعي و عمق آبستگي متوسط بهترين سري‌ها هستند.

حجم آبستگي عامل مهمي است كه مي‌تواند در انتخاب تركيب مناسب و بهينه جهت کاهش فرسايش كمك كند. بر اساس اطلاعات جدول ۲ مشخص است كه تركيب T8 داراي كم‌ترين حجم فرسايش با اختلاف حداقل نسبت به T7 و T9 است (شكل ۶). هم‌چنين در صورت استفاده از تركيب T8، حجم آبستگي بستر نسبت به تركيب T1 در حدود 24% کاهش مي‌يابد. اين مسئله نشان دهنده عملکرد مناسب آبشكن با هندسه T شكل است كه با عمق آبستگي و حجم فرسايش حداقل، در بهينه كردن تركيب‌هاي داراي آبشكن T تأثيرگذار است.



شکل ۶- آبستگي نهایی پیرامون ترکیب‌های T8 و T9



شکل ۷- فرسایش در مقطع میانی کانال برای ترکیب‌های مختلف

نتیجه‌گیری

برای انجام سایر آزمایش‌ها انتخاب گردید. در آزمایش‌های انجام شده مشخص شد که با توجه به شرایط جریان، شکل آبشکن‌های پایین‌دست و فاصله بین آبشکن‌ها، بر عمق و حجم فرسایش تأثیرگذار است. نتایج حاصل از پژوهش حاضر به شرح زیر می‌باشد:

عمق آبستگي آبشکن I شکل در جایگاه اول، به طور متوسط برای همه ترکیب‌ها در حدود $2/7$ برابر عمق جریان می‌باشد.

آبشکن‌های L و T شکل در موقعیت دوم بهترین عملکرد را در کاهش عمق آبستگي آبشکن ساده اول دارند. به نحوی که با وجود آبشکن‌های ساده، L و T شکل در موقعیت دوم در سری آبشکن‌ها، عمق آبستگي آبشکن اول به ترتیب $2/79$ ، $2/63$ و $2/64$ برابر عمق

در پژوهش حاضر، آبستگي آبشکن ساده در موقعیت اول برای آبشکن‌های سری سه‌تایی، به منظور حداقل کردن عمق آبستگي آن، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. آبشکن‌های واقع در پایین‌دست آبشکن اول، با هندسه‌های مختلف ممکن شامل I، L و T شکل جهت ایجاد ترکیب‌های متفاوت جانمایی شدند. آزمایش‌ها با دبی $28/5$ Lit/s و در حالت $U/U_{cr}=0.95$ و $Fr=0.42$ انجام گرفت. جهت مقایسه نحوه عملکرد ترکیب‌ها در یک مدت زمان معین و هم-چنین برای داشتن بیش از ۸۵ درصد آبستگي نهایی، آزمایش شاهد در مدت زمان ۳۰ ساعت انجام شد در نهایت بازه زمانی ۵ ساعته

جریان خواهد بود.

در حالت‌هایی که آبشکن جایگاه سوم L شکل است، آبستنگی آبشکن اول کم‌ترین مقدار خود را داراست. به نحوی که در حالت حضور آبشکن L در این موقعیت، عمق آبستنگی آبشکن اول $2/63$ برابر عمق جریان است. این در حالی است که با وجود آبشکن T شکل در موقعیت سوم، عمق آبستنگی برای آبشکن ساده اول در حدود $2/69$ برابر عمق جریان است.

در صورت استفاده از ترکیب‌های $T5 (IL L)$ و $T8 (IT L)$ به ترتیب در حدود 14 و 12 درصد از عمق آبستنگی آبشکن ساده اول در ترکیب $T1 (III)$ کاسته می‌شود.

ترکیب‌های $T6 (IL)$ و $T5 (IL L)$ ، $T8 (IT L)$ ، $T9 (ITT)$ (T) به ترتیب با $1/29$ ، $1/33$ ، $1/37$ و $1/37$ برابر عمق جریان کم‌ترین مقدار متوسط عمق آبستنگی را برای هر سه جایگاه دارند.

ترکیب $T8 (IT L)$ با حجم آبستنگی $0/066 \text{ m}^3/\text{s}$ نسبت به ترکیب $T1 (III)$ ، 24 درصد کاهش را در حجم فرسایش دارد.

ترکیب $T8 (IT L)$ ، بهترین ترکیب برای حداقل کردن آبستنگی آبشکن با هندسه ساده (I) در جایگاه اول، عمق آبستنگی متوسط و حجم آبستنگی کل بستر فرسایش‌پذیر است. متوسط فرسایش در مقطع طولی میانی کانال برای این ترکیب در حدود $0/02y$ است.

در نهایت، با توجه به موارد گفته شده، بهترین ترکیب در آزمایش‌های انجام شده مربوط به سری آبشکن $T8 (IT L)$ است. این ترکیب، از لحاظ عمق آبستنگی و حجم فرسایش بسیار مناسب عمل می‌کنند. بنابراین، با بهره‌گیری از این نتایج، مهندسين طراح با توجه به اهداف طراحی، می‌توانند ترکیب بهینه را انتخاب کنند.

منابع

اقبالی، پ.، دانش‌فراز، ر.، ثاقبیان، م. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی روند توسعه زمانی ابعاد حفره آبستنگی اطراف آبشکن بالدار با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژنی. دانش آب و خاک. ۲۳: ۱۷۷-۱۸۸.

امیربهادری اربط، ز. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی تأثیر توام طول، زبری و زاویه بدنه آبشکن بر عمق آبستنگی در دو آبشکن متوالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی، دانشگاه تبریز.

جراح‌زاده، ف.، کاشفی‌پور، م.، شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۶. تأثیر زاویه قرارگیری در سه نوع آبشکن نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندال لایک در شرایط مستغرق بر ابعاد هندسی آبستنگی. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰: ۱-۱۴.

جلیلی، م.، بختیاری، م.، کاشفی‌پور، م.، کرم‌زاده، ن. ۱۳۹۶. بررسی

تجربی تأثیر استغراق آبشکن باندال لایک بر توپوگرافی بستر در قوس 90 درجه. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰: ۴-۱۴۱-۱۵۴.

چام‌پور، م.، کاشفی‌پور، م. ۱۳۹۶. بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذپذیری و طول سری آبشکن‌ها بر ابعاد چاله آبستنگی در شرایط غیرمستغرق در قوس 64 درجه ملایم. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰: ۳-۳۵-۴۸.

راهنمای روش‌های محاسبه آبستنگی موضعی. ۱۳۹۰. نشریه شماره ۵۴۹. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور.

کرمی، ح. ۱۳۸۴. بررسی آزمایشگاهی طول آبشکن محافظ بر آبستنگی آبشکن اصلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیرکبیر، تهران.

Gunawan, P.H and Pudjaprasetya, S.R. 2018. Simulation of shoreline development in a groyne system, with a case study Sanur Bali beach. In Journal of Physics: conference series. 971. 1: 1-12.

Karami, H., Ardeshir, A., Behzadian, K and Ghodsian, M. 2011. Protective spur dike for scour mitigation of existing spur dikes. Journal of hydraulic research. 49. 6: 809-813.

Karami, H., Ardeshir, A., Saneie, M and Salamatian, S.A. 2012. Prediction of time variation of scour depth around spur dikes using neural networks. Journal of hydro informatics. 14. 1: 180-191.

Karami, H., Basser, H., Ardeshir, A and Hosseini, S.H. 2014. Verification of numerical study of scour around spur dikes using experimental data. Water and Environment Journal. 28. 1: 124-134.

Kirkgöz, M.S and Ardiçlioglu, M. 1997. Velocity profiles of developing and developed open channel flow. Journal of Hydraulic Engineering. 123. 12: 1099-1105.

Kumar, T., Tyagi, D., Aggarwal, L and Kumar, M. 2018. Comparison of scour around different shapes of groynes in open channel. International Journal of Recent Trends in Engineering and Research. 4. 3: 382-392.

Lee, K.S and Jang, C.L. 2016. Numerical investigation of space effects of serial spur dikes on flow and bed changes by using Nays2D. Journal of Korea Water Resources Association. 49. 3: 241-252.

Lodhi, A.S., Jain, R.K., Karna, N. 2017. Temporal variation of scour at wake of the spur dikes in cohesive sediment mixtures. 22nd International conference on hydraulics, water resources and coastal engineering, L. D. college of engineering ahmedabad, india.

Mehraein, M., Ghodsian, M., Mashizi, M. K and

2018. Numerical investigation of flow pattern around a T-shaped spur dike in the vicinity of attractive and repelling protective structures. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 40.2: 93-108.
- Vaghefi, M., Ghodsian, M and Akbari, M. 2017. Experimental investigation on 3D flow around a single T-shaped spur dike in a bend. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 61.3: 462.
- Vaghefi, M. 2017. Experimental study on flow pattern and scour hole dimensions around a T-shaped spur dike in a channel bend under emerged and submerged conditions. *International Journal of Civil Engineering*. 15. 7: 1019-1034.
- Sadat, S.H., Tominaga, A. 2015. Optimal distance between pile-group and spur-dike to reduce local scour. *Journal of Japan Society of Civil Engineers*. 71. 4: 187-192.
- Vaghefi, M., Faraji, B., Akbari, M and Eghbalzadeh, A.

Experimental Study of Scouring Around a Simple Spur Dike under the Influence of Adjacent Spur Dikes

Sh. Nayyer¹, H. Karami^{2*}, S. Farzin³, M. Rostami⁴
Received: Mar.18, 2018 Accepted: May.11, 2018

Abstract

Erosion of river and coastal edges is one of the major concerns of the hydraulic engineers. Using spur dikes is one of the methods which help to control and reduce the erosion. Spur dikes are used in form of permeable and impermeable that I, L and T-shaped spur dikes are among the impermeable spur dikes. In the present study, optimization of erosion for triple-series spur dikes with simple spur dike in the first position and using different geometries for the second and third positions was studied. Also the best combination for optimizing the amount of erosion was suggested. All the tests were done in the motion-threshold conditions. Results showed that mean scouring depth for simple spur dike in the first position is about $2.7y$ (y is flow depth). The best and optimal performance between all combinations is related to (I T L) series. Actually, this series is the best combination for reduce the first simple spur dike scouring depth, mean scouring depth and erosion volume of bed. Average bed erosion in the channel middle longitudinal section for (I T L) series is about $0.02y$, which illustrated that this combination, in addition to the edges, has good performance in middle of the channel.

Keywords: Combination series spur dike, Optimal composition, Scour depth, Simple spur dike

1- Graduated MSc student, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

4- Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran
(*-Corresponding Author Email: hkarami@semnan.ac.ir)