

بررسی آزمایشگاهی آبخستگی پیرامون ترکیب‌های مختلف آبشکن‌های سری نفوذناپذیر

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

۱ دانشجوی دکتری مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

۲ دانشیار، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

۳ استادیار پژوهشکده حفاظت خاک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آبخیزداری، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۱۱/۳۰

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۶/۲۷

ایمیل hkarami@semnan.ac.ir

چکیده

اصلاح مسیر رودخانه به منظور کنترل سیلاب، جلوگیری از فرسایش بستر، تثبیت و حفاظت دیواره‌ها و همچنین تنظیم عرض رودخانه از جمله اهدافی هستند که در استفاده از آبشکن در نظر گرفته می‌شود. آبشکن‌های متداول دارای شکل‌های هندسی ساده، L و T هستند. این پژوهش در راستای بهینه کردن ترکیب‌های مختلف آبشکن‌های سری برای کاهش آبخستگی انجام شده است. آبشکن‌های نفوذناپذیر با اشکال هندسی مختلف به صورت سری ۳ تایی در ترکیب‌های متفاوت تحت شرایط $U/U_{cr}=0.95$ مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفتند. آبشکن اول در همه ترکیب‌ها T شکل بوده است. نتایج نشان داد برای آبشکن اول، در ۱۰٪ زمان تعادل، بیش از ۹۰٪ آبخستگی نهایی اتفاق می‌افتد. بهترین حالت از نظر متوسط عمق آبخستگی در هر سه موقعیت، ترکیب (T L T) است که در حدود ۱/۴ برابر عمق جریان فرسایش دارد. همچنین از دیدگاهی دیگر بهترین عملکرد در کل محدوده مورد حفاظت آبشکن‌ها با توجه به حجم فرسایش مربوط به ترکیب (TII) می‌باشد که دارای حداقل حجم آبخستگی در حدود ۷۰٪ بیشترین حجم فرسایش در ترکیب‌های دیگر است، پس در طراحی باید بهترین حالت با در نظر گرفتن اهداف برای بهره‌برداری بهینه استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آبشکن‌های سری ترکیبی، آبشکن T شکل، ترکیب بهینه، کاهش آبخستگی، مطالعه آزمایشگاهی.

۱- مقدمه

روش‌ها، استفاده از سازه‌های آبشکن است. آبشکن‌ها انواع مختلفی دارند که در شکل، شرایط هیدرولیکی و آبخستگی اطراف آن‌ها عملکردی متفاوت دارند، از جمله آبشکن ساده، L شکل و T شکل یا سرسپری هستند که به صورت سری و یا تک استفاده می‌شوند. از جمله پارامترهای هندسی مهم در این سازه‌ها، طول آبشکن، نسبت ابعاد باله و جان، زاویه قرارگیری

رودخانه یک پدیده فعال است که همیشه کناره‌ها و بستر آن در حال تغییر است. همین امر سبب شده که مسیر رودخانه در طول زمان دستخوش تغییرات و تحولات اساسی شود. در این راستا، امروزه فن‌های متفاوتی برای حفاظت رودخانه‌ها برای زمان حال و آینده توسعه یافته است که یکی از این

آبشکن‌ها نسبت به جریان و فاصله آن‌ها از یکدیگر است. اصلی‌ترین مسئله در ارتباط با کاربرد آبشکن‌ها در رودخانه، بهبود وضعیت آبستنگی موضعی و کلی است. در واقع آبشکن‌ها باید طوری طراحی شوند که کمترین فرسایش را در اطراف خود داشته باشند. با توجه به اهمیت موضوع، امروزه پژوهشگران در تلاش هستند تا مسئله آبستنگی رودخانه‌ها و هیدرولیک پیچیده جریان اطراف آبشکن‌ها را مطالعه کنند. از مهمترین پژوهش‌های صورت گرفته در این راستا می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

اردشیر و همکاران اثر آبشکن محافظ را روی آبستنگی آبشکن اول بررسی کردند. در نتایج مطالعات خود روی آبشکن‌ها برای کاهش عمق آبستنگی آبشکن اول، نسبت مناسب‌ترین طول برای آبشکن محافظ را $0.66/0$ تا $0.77/0$ آبشکن اصلی ارائه کردند [1]. کرمی و صانعی نسبت طول آبشکن فرعی به آبشکن اول را $0.5/0$ تا $0.58/0$ آبشکن اول و مناسب‌ترین فاصله آبشکن اصلی از فرعی را $1.5/0$ تا 2 برابر طول آبشکن اول توصیه کردند [2]. نوروزی و همکاران در مطالعات آزمایشگاهی خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش قطر مصالح بیشترین عمق آبستنگی کاهش می‌یابد [3]. در پژوهش‌های کرمی و همکاران برای کاهش عمق آبستنگی آبشکن‌های سری، از یک آبشکن محافظ در بالادست استفاده کردند. نتایج آنان نشان داد در شرایطی که آبشکن محافظ به درستی طراحی شود قادر خواهد بود تا متوسط بیشترین عمق آبستنگی را در آبشکن‌های سری کاهش دهد. همچنین پارامترهای ابعادی را برای طراحی بهینه آبشکن محافظ ارائه کردند [4]. همچنین مهر نهاد و قدسیان، با بررسی آزمایشگاهی آبشکن T شکل دریافتند که نرخ گسترش آبستنگی برای ماسه ریزدانه بیشتر از نرخ مربوط به ماسه درشت‌دانه است و اینکه طول آبشکن نسبت به قطر مصالح بر ابعاد چاله آبستنگی دارای حساسیت بیشتری است [5]. کرمی و همکاران بیشترین عمق آبستنگی با توجه به تغییرات زمانی را در اطراف آبشکن‌های سری بررسی کردند و نتایج آنان نشان داد که 70 تا 90 درصد عمق تعادلی آبستنگی در 20 درصد اولیه کل زمان آبستنگی اتفاق می‌افتد [6].

لی و جانگ اثر فاصله بین آبشکن‌های سری روی آبستنگی بستر و الگو جریان را مورد تحقیق قرار دادند و بیان داشتند که

عمق آبستنگی در حالت تعادل دینامیکی ثابت است و عمق آبستنگی بی‌بعد با زیاد شدن فاصله، افزایش می‌یابد [7]. بررسی تجربی صفرزاده و همکاران روی آشفته‌گی سه‌بعدی جریان اطراف آبشکن‌های ساده و T شکل در حالت بستر تخت نشان داد که افزایش طول بال آبشکن T شکل در بالادست، باعث ناپدید شدن گردابه نعل اسبی می‌شود که این کار به‌عنوان یک اقدام متقابل در برابر آبستنگی است [8].

واقفی و رادان در پژوهش خود به بررسی الگوی جریان و آبستنگی بستر متحرک با استفاده از آبشکن سرسپری پرداختند. آن‌ها در نتایج خود بیان داشتند که آبستنگی بیشینه در بالادست آبشکن‌ها و در مجاورت آن‌ها ایجاد می‌شود که این امر سبب کاهش آبستنگی در کل بستر می‌شود. همچنین با افزایش شعاع انحنای قوس بیشینه عمق حفره فرسایش یافته روندی افزایشی دارد [9]. محسنی مهر و همکاران اثر موقعیت آبشکن T شکل را بر قدرت جریان ثانویه در قوس 90 درجه را بررسی کردند که نتایج آنان نشان داد کمترین و بیشترین درصد قدرت جریان ثانویه به ترتیب مربوط به موقعیت‌های 30 و 75 درجه است [10]. منصوری و همکاران اثر شکل آبشکن‌های سری در خم رودخانه به منظور کاهش ابعاد و هزینه‌های آبشکن با ایجاد بریدگی در لبه ابتدایی آن را بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در آزمایش سری آبشکن‌های بدون تغییر شکل دماغه (حالت مبنا) در قوس رودخانه آبستنگی از دماغه آبشکن شروع می‌شود. در حالت کلی در همه بریدگی‌ها با کاهش سطح آبشکن، سرعت جریان در جلوی آبشکن کاهش می‌یابد. این امر باعث کاهش تنش برشی در مقاطع بالادست آبشکن و در نهایت باعث کاهش عمق آبستنگی می‌شود [11]. واقفی و همکاران میدان جریان را اطراف آبشکن ساده مستغرق با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش مقدار دبی، سرعت طولی بیشترین افزایش را می‌یابد. همچنین در بالادست آبشکن گردابه تشکیل شده ابعاد کوچکتری نسبت به گردابه تشکیل شده در پایین‌دست دارد [12].

واقفی و همکاران مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت جریان پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس 90 درجه با بستر صلب را به صورت آزمایشگاهی را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که

خرابی‌های سازه‌های آبی مؤثرتر است. بنابراین جاهایی که سازه‌های آبی باید حفاظت شود آبشکن T شکل پیشنهاد می‌شود و آبشکن ساده باید در مواقعی که انحراف و جابه‌جایی جریان اهمیت دارد استفاده شود. علت این امر نیز هزینه بیشتر ساخت آبشکن T شکل بیان شده است [18].

در پژوهش دیگری از واقفی و همکاران، شرایط جریان را در اطراف آبشکن T شکل، با توجه به سازه‌های محافظ، بررسی کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که بیشینه 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 می‌یابد. 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 می‌یابد. این مقادیر برای زوایای ۲۰ تا ۳۰ درجه در حدود ۱۴/۶ درصد و ۱۵/۵ درصد کاهش می‌یابد [19].

با توجه به مطالعات انجام شده مشاهده می‌شود که تاکنون مقایسه آبشستگی آبشکن‌های سری با ترکیب‌های مختلف آبشکن با هدف کاهش عمق آبشستگی انجام نشده است تا حداکثر بهره‌برداری را از احداث آبشکن‌ها داشت. لذا در این مطالعه با در نظر گرفتن آبشکن T شکل برای موقعیت اول به صورت ثابت و تغییر هندسه آبشکن‌های دوم و سوم در سری ۳ تایی آبشکن به صورت ساده، L و T شکل، عمق و حجم آبشستگی پیرامون آن‌ها در کانال تحت شرایط $U/U_{cr}=0.95$ اندازه‌گیری شده و آبشستگی و رسوب‌گذاری در ترکیب‌های مختلف باهم مقایسه و تحلیل می‌شوند تا بتوان به ترکیبی بهینه دست یافت.

۲- مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها از یک فلوم به طول ۱۴ متر، عرض ۱/۵ متر و ارتفاع ۰/۷۰ سانتی‌متر در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی در تهران استفاده شد. در قسمت ابتدایی و انتهایی، کانال دارای مخزن است که در مخزن انتهایی یک سرریز مستطیلی تعبیه شده است. بستر متحرک با دانه‌بندی $D_{50}=1mm$ و $\sigma_g=1.41$ برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. آبشکن‌ها با استفاده از پلاکسی گلاس ساخته شده

در موقعیت‌های مختلف نصب آبشکن، در فاصله حدود ۰/۶ طول آبشکن و در بالادست، بیشترین مقدار قدرت جریان ثانویه ایجاد می‌شود. همچنین پیش‌بینی کردند محل وقوع آبشستگی بیشینه نزدیک به محل وقوع بیشینه پارامترهای قدرت جریان ثانویه و چرخش است [13]. ایرانشاهی و همکاران آبشکن سرسپری را به صورت سری در قوس تند مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد میزان آبشستگی برای آبشکن اول بیش از آبشکن دوم و سوم است. این مسئله نشان‌دهنده آن است که بستر پیرامون آبشکن اول باید با استفاده از روش‌های حفاظتی، در برابر آبشستگی محافظت شود [14]. نتایج پژوهش‌های آزمایشگاهی صفرزاده نشان داد که به واسطه کم عمق بودن جریان آزمایش بخش عمده‌ای از ساختارهای آشفته‌گی حالت دویعدی داشته و شکل‌گیری یک جریان برگشتی از ناحیه پایین‌دست به داخل میدان آبشکن باعث پیچیدگی ساختار لایه اختلاطی و پروسه تبادل جرم بین ناحیه چرخشی میدان آبشکن و جریان آزاد می‌شود [15]. گیگلو و همکاران تأثیر آبشکن‌ها بر الگوی رسوب‌گذاری را بررسی کردند، نتایج آنان نشان داد که افزایش زاویه آبشکن از ۹۰ درجه به ۱۲۰ درجه، بر طول و عرض ناحیه رسوب‌گذاری تأثیر می‌گذارد و باعث افزایش آن می‌شود [16]. نیز و همکاران تغییرات زمانی آبشستگی را در اطراف آبشکن‌های سری ساده، L و T شکل بررسی کردند. نتایج ایشان نشان می‌دهد که آبشکن T شکل در ۱۰ درصد اول مدت زمان آبشستگی به بیش از ۹۰ درصد آبشستگی تعادلی می‌رسد. برای آبشکن ساده و L شکل در ۱۵ درصد اول مدت زمان آبشستگی، این مقدار بیش از ۸۰ درصد است. همچنین بیان داشتند که عمق آبشستگی آبشکن T شکل، در مقایسه با سایر آبشکن‌ها، در شرایط یکسان در حدود ۰/۳y کمتر است (y عمق جریان است). بیشترین عمق آبشستگی برای آبشکن ساده و L شکل کمی عقب‌تر از نوک دماغه است و بیشترین عمق آبشستگی برای آنها بیش از سه برابر عمق جریان است درحالی‌که این مقدار برای آبشکن T شکل در حدود ۲/۷ برابر است [17].

کومار و همکاران آبشستگی 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 آبشستگی و

سوم است. چگونگی قرارگیری آبشکن‌ها در فلوام آزمایشگاهی نیز در شکل (۳) نشان داده شده است.

شکل ۲. ترکیب‌های مختلف آبشکن‌های سری مورد آزمایش.

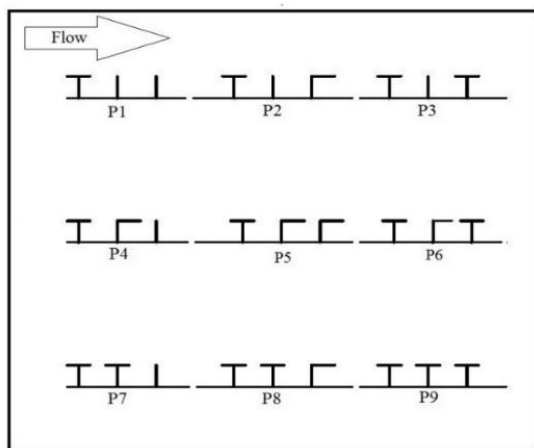


Fig. 2. Different combinations of tested series spur dikes

شکل ۳. آبشکن‌های متناظر با آزمایش P4 در کانال آزمایشگاهی



Fig. 3. Spur dikes design for test P4 in flume

۳- نتایج و بحث

هدف از انجام آزمایش‌ها، بررسی و مقایسه عمق و حجم آبشستگی پیرامون آبشکن‌ها با شکل هندسی مختلف بوده است. عمق آبشستگی موضعی در آبشکن‌های سری اندازه‌گیری شد و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. آزمایش P9 برای دستیابی به زمان و عمق تعادلی و مبنا قرار دادن این آزمایش برای سایر آزمایش‌ها در مدت ۳۰ ساعت انجام شد و بیشترین عمق آبشستگی آن برداشت شد. برای تعیین مدت زمان تعادل

و ابعاد آن ۳۵ سانتی‌متر برای جان و ۳۵ سانتی‌متر برای باله در نظر گرفته شد. پارامترهای هندسی آبشکن‌ها در شکل (۱) معرفی شده است؛ که در آن $L_t/L=1$ و $a=3L$ و $L/B=23\%$ است که B عرض کانال است. با توجه به توصیه‌های نشریه ۴۱۷ (مبانی طراحی سازه‌های کنترل فرسایش در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها) آبشکن‌ها با فاصله ۳ برابر طول آبشکن در کانال نصب شدند. برای اندازه‌گیری عمق آبشستگی از دستگاه بستر سنج دیجیتالی ساخت مؤسسه دلفت هلند با دقت ۱ میلی‌متر استفاده شده است.

شبکه برداشت بستر در راستای طولی و عرضی برای نقاط ثابت با فاصله ۱۰ سانتی‌متری در نظر گرفته شد. همچنین در مواردی که تغییرات بستر شدید بوده و این تغییرات در فاصله ۱۰ سانتی‌متری مشخص نبود از نقاط نزدیک‌تر تا حدود ۱ سانتی‌متری استفاده شد. دبی جریان نیز با استفاده سرریز مستطیلی اندازه‌گیری شد.

شکل ۱. پارامترهای هندسی در آبشکن‌های مدل شده

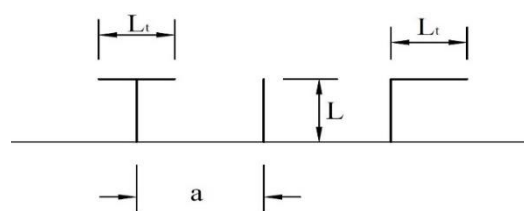


Fig. 1. Geometric parameters in modeled spur dikes

شرایط جریان به صورت آستانه حرکت و به صورت $U/U_{cr}=0.95$ در نظر گرفته شده است و با استفاده از منحنی شیلدز، دبی استفاده با توجه به ابعاد کانال و عمق جریان برابر با ۳۰ لیتر بر ثانیه محاسبه شد. همچنین آبشکن‌ها نسبت به ابتدای کانال در طولی قرار داده شده‌اند که جریان توسعه یافته باشد و این توسعه با توجه به اندازه‌گیری‌های سرعت بررسی شد. برای انجام آزمایش از ترکیب‌های مختلفی از آبشکن‌های ساده، L، شکل و T، شکل به صورت سری ۳ تایی استفاده شده است. آبشکن اول در همه این ترکیب‌ها، T شکل بوده است. ۹ ترکیب مورد استفاده در آزمایش‌های این پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است. برای نمونه ترکیب P1 شامل آبشکن T شکل در موقعیت اول و آبشکن ساده در موقعیت‌های دوم و

با در نظر گرفتن مدت زمان ۵ ساعت برای انجام آزمایش، ترکیب‌های مختلف آزمایش شدند. جدول (۱) عمق و حجم آبستگی برداشت شده در آبشکن‌های سری با دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه را نشان می‌دهد. پس نتایج را بر اساس حداکثر عمق آبستگی، عمق آبستگی متوسط و حجم آبستگی مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۳-۱- بیشترین عمق آبستگی آبشکن‌ها

با توجه به اینکه آبشکن اول در همه ترکیب‌ها ثابت بوده است، عمق آبستگی آن در زمان‌های مشخص متوسط گیری شد که به صورت بی بعد در شکل (۵) آمده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود متوسط عمق آبستگی حدود ۲/۴ برابر عمق جریان است. همچنین مشاهده می‌شود بعد از گذشت ۱۰٪ از زمان تعادل، آبستگی به عمق آبستگی تعادلی رسیده است. بیشترین عمق آبستگی در محل نوک دماغه آبشکن اول است و سایر آبشکن‌ها دارای عمق آبستگی کمتری هستند. برای موقعیت آبشکن دوم در حالتی که به شکل T است (آزمایش‌های P7، P8 و P9) متوسط عمق آبستگی حدوداً برابر با عمق جریان است که نسبت به سایر آبشکن‌ها در موقعیت دوم کمتر است. علت این امر آن است که به دلیل وجود زبانه آبشکن T شکل در پایین دست آبشکن اول و در بالادست آبشکن دوم، فاصله بین دو آبشکن که ۳L است به ۲L کاهش می‌یابد. بنابراین وجود باله آبشکن T در فضای بین آبشکن اول و دوم باعث می‌شود تا جریان چرخشی بسیار آرامی در این ناحیه شکل بگیرد که دارای حداقل قدرت برای ایجاد فرسایش است. سرانجام ذرات معلق این گردابه که ناشی از فرسایش آبشکن اول است در این فضا رسوب کرده و ته‌نشین می‌شود و پشته‌های از رسوبات را ایجاد می‌کند. در آخر برای آبشکن سوم نیز همچنان آبشکن T (آزمایش‌های P3، P6 و P9) با مقدار متوسط حدوداً نصف عمق جریان، کمترین عمق آبستگی را داراست که به دلیل کاهش شدت جریان در محدوده آبشکن سوم، ایجاد جریان چرخشی در بالادست آبشکن T شکل و همچنین کوتاه شدن فاصله بین دو آبشکن متوالی است. بنابراین با توجه به مقدار عمق آبستگی مشاهده

آبستگی از معیار دی و باربویا استفاده شد. ایشان زمانی از آزمایش‌ها را که تغییرات بیشترین عمق آبستگی کمتر از ۱ میلی متر به ازای ۲ ساعت آزمایش باشد را به عنوان زمان تعادل آبستگی تعریف کردند.

با توجه به برداشت‌های انجام شده بعد از گذشت حدود ۲۲ ساعت آبستگی به عمق تعادلی خود رسیده و تغییرات آن کمتر از ۱ میلی متر بوده است. همان گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود با توجه به زمان و عمق آبستگی تعادلی، بعد از گذشت ۱۰٪ از زمان آزمایش، آبستگی به بیش از ۹۰٪ می‌رسد. پس برای انجام سایر آزمایش‌ها، مدت زمان ۵ ساعت برای انجام آزمایش و مقایسه ترکیب‌های مختلف در نظر گرفته شد.

شکل ۴. درصد نسبی عمق آبستگی با توجه به درصد نسبی زمان آبستگی

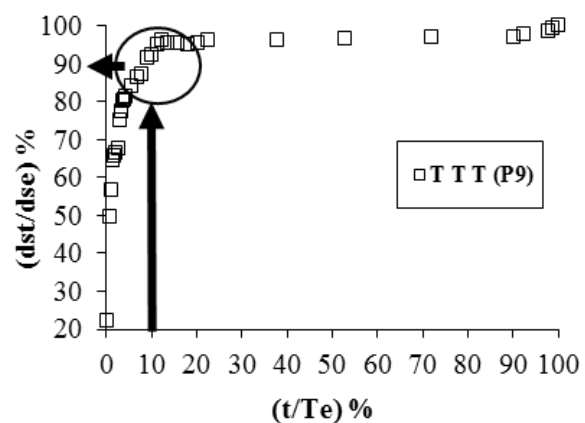


Fig. 4. Dimensionless scour depth (d_{st}/d_{se}) as a function of dimensionless time (t/T)

جدول ۱. مقایسه مقادیر عمق و حجم آبستگی در آبشکن‌های

سری

Test No.	$ds1/y$	$ds2/y$	$ds3/y$	ds_{ave}/y	V (m ³)
P1	2.47	1.28	1.13	1.63	0.064
P2	2.22	1.23	0.85	1.43	0.078
P3	2.4	1.37	0.63	1.47	0.091
P4	2.4	1.27	0.77	1.48	0.081
P5	2.4	1.35	0.52	1.42	0.087
P6	2.53	1.37	0.28	1.4	0.078
P7	2.33	0.95	1.07	1.45	0.076
P8	2.45	1.17	0.98	1.53	0.071
P9	2.75	0.95	0.53	1.42	0.090

Table. 1. Scour depth and volume comparison in series spur dikes

شکل ۶. متوسط عمق آبشستگی نسبت به عمق جریان در ترکیب‌های مختلف

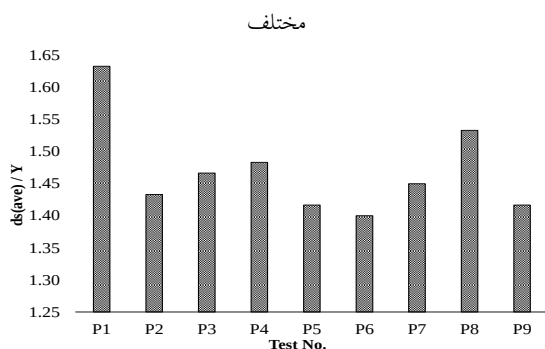


Fig. 6. Dimensionless average scour depth for different combinations

۳-۳- حجم آبشستگی و رسوب‌گذاری

دیدگاهی دیگری برای مقایسه این ترکیب‌ها با یکدیگر وجود دارد. می‌توان این ترکیب‌ها را با توجه به حجم حفره آبشستگی که ایجاد می‌کنند مقایسه کرد. با توجه به جدول (۱) مشاهده می‌شود که در آن ترکیب‌های P1 و P3 به ترتیب دارای کمترین و بیشترین حجم آبشستگی هستند، تصویر سه‌بعدی و توپوگرافی بستر در این دو ترکیب در شکل (۷) نشان داده شده است.

ترکیب P1 کمترین حجم فرسایش را دارد، درحالی‌که بیشترین عمق آبشستگی متوسط را دارا است. برای تحلیل این اتفاق، آبشستگی در مقاطع ثابت طولی و عرضی کانال برای ترکیب P1 با کمترین حجم آبشستگی و ترکیب P6 با کمترین عمق آبشستگی متوسط، مقایسه می‌شود. شکل (۸) تغییرات بستر را برای ترکیب‌های P1 و P6 در مقطع طولی وسط کانال نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، تغییرات بستر در تمامی مقاطع برای ترکیب P1 کمتر است، و مشاهده می‌شود که شیب حفره آبشستگی در ترکیب P1 بیشتر است. همچنین تغییرات بستر در محدوده آبشکن اول دارای روند یکسانی است و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت اختلاف اساسی در این قسمت نیست. اما با آغاز محدوده آبشکن دوم ($X=165\text{ cm}$) و بعد از آن روند دو ترکیب کاملاً متفاوت است. آبشکن دوم ترکیب P6 به شکل L است، بنابراین جریان وقتی به محدوده آبشکن دوم می‌رسد با طول تنگ‌شدگی بیشتری نسبت به ترکیب P1 که آبشکن ساده دارد و فقط در محل جان آبشکن دارای تنگ‌شدگی است، مواجه می‌شود. این طول تنگ‌شدگی بیشتر، باعث می‌شود سرعت جریان بالاتر برود و آبشستگی بیشتری را در محدوده

می‌شود که آبشکن T در تمام موقعیت‌ها به صورت مجزا مناسب‌تر از سایر هندسه‌ها عمل می‌کند.

۲-۳- عمق آبشستگی متوسط در سری آبشکن‌ها

دومین معیار مقایسه ترکیب‌های مختلف عمق آبشستگی متوسط در سری آبشکن‌ها است. با توجه به عمق آبشستگی متوسط هر ترکیب در شکل (۶)، مشاهده می‌شود که ترکیب P6 کمترین مقدار متوسط و حدوداً برابر با $1/4$ عمق جریان را دارد. بعد از آن نیز با اختلاف بسیار اندک ترکیب‌های P5 و P9 دارای کمترین مقدار متوسط آبشستگی هستند. با دقت در شکل هندسی آبشکن‌ها در ترکیب P6 می‌توان به علت پایین بودن متوسط عمق آبشستگی در این ترکیب پی برد. در این ترکیب که به شکل (T L T) است فاصله بین آبشکن‌ها به دلیل وجود باله‌ها در فضای بین دو آبشکن کم است. با توجه به جدول (۱)، عمق آبشستگی آبشکن سوم در ترکیب P6، برابر $0.28y$ است که به علت ورود رسوب بالادست در آن است. در واقع بعد از گذشت مدتی، مقدار آبشستگی در آبشکن سوم و مقدار رسوب ورودی به حفره، به یک تعادل می‌رسند. نتیجه این تعادل عمق حداقلی برای حفره موجود در آبشکن سوم است. نکته مهم در مورد آبشکن T شکل این است که آبشستگی در محل نوک باله در بالادست اتفاق می‌افتد. علت پایین بودن عمق آبشستگی متوسط در ترکیب P5 و P9 این است که کمتر شدن عمق آبشستگی آبشکن سوم در این ترکیب‌ها به دلیل نزدیک بودن حفره آبشستگی به باله آبشکن بالادست و ورود رسوب بالادست به آن می‌باشد، که در پایان باعث شده تا متوسط عمق آبشستگی در این حالات کاهش یابد.

شکل ۵. تغییرات عمق آبشستگی در آبشکن T در جایگاه اول آبشکن‌های سری

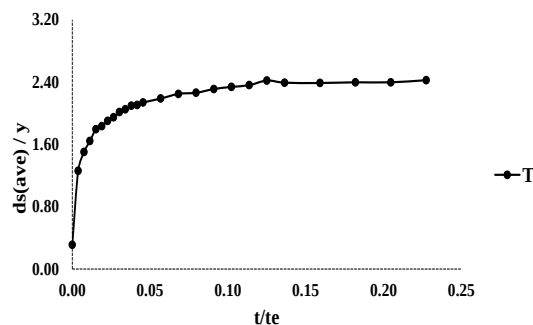
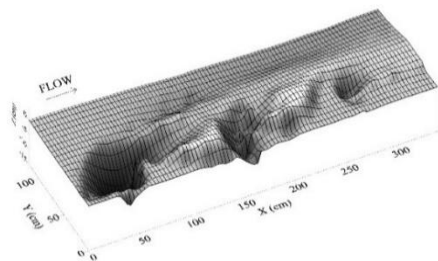


Fig. 5. Scour depth changes for T-shaped spur dike in first position of series spur dikes

بیشترین ارتفاع بین آبشکن اول و دوم است. علت این مسأله می‌تواند عمق آبستگي حداکثري در محل آبشکن اول و ورود جريان حاوی رسوب بیشتر در محدوده آبشکن اول و دوم باشد. در واقع جريان در محدوده بين آبشکن اول و دوم حاوی رسوب بیشتری هست که با توجه به گردابه ایجاد شده در این ناحیه و کاهش قدرت جريان، رسوب‌گذاری حداکثري ایجاد شده است. پس با توجه به در نظر گرفتن تمام شرایط موجود در ارتباط با آبستگي و رسوب‌گذاری هر ترکیب و مزایا و معایب هر کدام و همچنین شرایط اقتصادی طرح، مهندس طراح می‌تواند با دقت در شرایط مورد نیاز طراحی، ترکیب بهینه، مناسب را انتخاب کند.

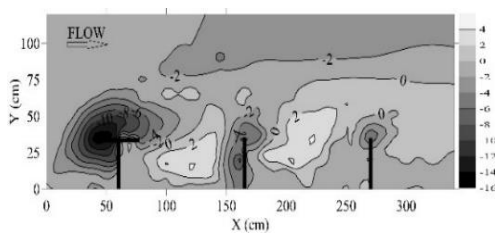
شکل ۷. تصویر سه‌بعدی بستر در ترکیب‌های P1 و P3

تصویر سه‌بعدی بستر ترکیب P1



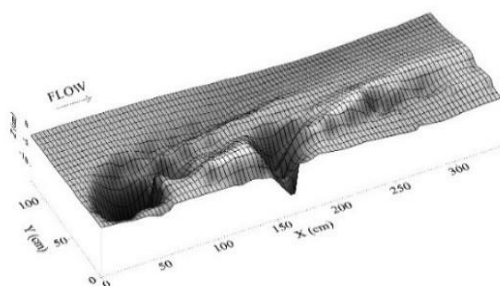
Erosional bed 3D image for P1 combination

توپوگرافی بستر ترکیب P1



Erosional bed topography for P1 combination

تصویر سه‌بعدی بستر ترکیب P3



Erosional bed 3D image for P3 combination

بعد از آبشکن دوم ایجاد کند. همچنین در آبشکن سوم نیز با توجه به شکل آبشکن‌ها، چگونگی آبستگي مانند آبشکن دوم است. بنابراین عمده اختلاف ایجاد شده در محدوده بین آغاز آبشکن دوم تا پایین دست آبشکن سوم است. مقطع طولی دیگری برای بررسی در شکل (۹) نشان داده شده است. این مقطع یک مقطع طولی در محل نوک آبشکن‌های سری است. اما در محل آبشکن دوم هندسه‌های ساده و L شکل به دلیل عدم وجود باله در بالادست دارای حفره مشابه هستند، که این حفره در مقایسه با آبشکن T شکل از نظر عمق بزرگتر و از نظر ابعاد حفره آبستگي کوچکتر است. در واقع آبشکن T شکل به دلیل حضور باله در بالادست خود ابعاد حفره آبستگي بزرگتری را ایجاد کرده است. در محل آبشکن سوم، ترکیب P1 بیشترین عمق را دارد. این در حالی است که ترکیب‌های P6 و P9 عمق کمتری دارند. اما با توجه به آبشکن‌های این ترکیب‌ها مشاهده می‌شود که حضور آبشکن L شکل در مقطع میانی باعث کاهش عمق آبشکن سوم و همچنین انتقال حفره به پایین دست شده است.

بنابراین برای بررسی بیشتر و تفسیر بهتر این اختلاف‌ها در شرایط آبستگي، مقطع عرضی در شکل (۱۰) مقایسه شد. این شکل یک مقطع بین آبشکن دوم و سوم است. در این شکل نیز، مقدار فرسایش در ترکیب P6 بیشتر است و رسوب‌گذاری آن کمتر است که علت آن همان باله آبشکن‌ها است. ترکیب P1 نیز با وجود اینکه عمق آبستگي بیشتری دارد اما محدوده فرسایش آن کوچکتر است. تفاوت بین فرسایش رسوب‌گذاری این دو ترکیب باعث می‌شود تا حجم حداکثلي آبستگي برای ترکیب P1 نتیجه شود.

همچنین در خصوص بیشترین حجم رسوب‌گذاری نیز ترکیب‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شدند. بیشترین حجم رسوب‌گذاری برای ترکیب‌های P1، P8 و P7 بوده است که حجم آن به ترتیب برابر با ۰/۰۱۴۶، ۰/۰۱۲۷ و ۰/۰۱۰۷ است. اما در ارتباط با بیشترین ارتفاع رسوب‌گذاری این ترتیب متفاوت است، به شکلی که ترکیب P1 با ۰.۷۲y بیشترین ارتفاع را دارد. محل این ارتفاع بین آبشکن اول (T شکل) و دوم (I شکل) است. ترکیب‌های P8 و P7 با ۰.۶۶y و ۰.۶۱y بعد از ترکیب P1 بیشترین ارتفاع رسوب‌گذاری را دارند که برای این دو نیز

۴- نتایج

در این پژوهش آبستنگی اطراف ترکیب‌های مختلفی از آبشکن‌های سری در حالتی که آبشکن اول ثابت و به صورت T شکل بود انجام گرفت. با توجه به هندسه‌های مورد مطالعه (ساده، L شکل و T شکل) تمام حالات ترکیب‌های ممکن پیش‌بینی شد و با دبی ثابت و در حالت $U/U_{cr}=0.95$ آزمایش شدند. برای مقایسه ترکیب‌ها در یک‌زمان یکسان، آزمایش شاهد انجام شد و مدت ۱۰٪ زمان تعادل برای داشتن بیش از ۹۰٪ آبستنگی در نظر گرفته شد. آبستنگی در تمام محدوده آزمایش برداشت شد. نتایج زیر از آزمایش‌ها بدست آمد:

۱- عمق آبستنگی آبشکن T در جایگاه اول به‌طور متوسط برابر با $2/4$ برابر عمق جریان ($2/4y$) است.

۲- بهترین عملکرد به صورت متوسط در جایگاه دوم و سوم نیز مربوط به آبشکن T شکل است، که عمق آبستنگی برای آبشکن دوم برابر با y و برای آبشکن سوم برابر با $0.5y$ است.

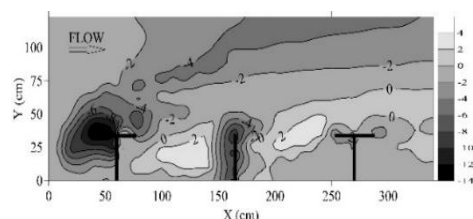
۳- ترکیب P6 (T L T)، کمترین عمق آبستنگی متوسط را با توجه به موقعیت همه آبشکن‌ها داراست؛ که به صورت متوسط در حدود $1/4$ عمق جریان فرسایش داشته است.

۴- ترکیب P1 (T I I) با وجود اینکه بیشترین متوسط عمق آبستنگی را دارد اما حجم آبستنگی آن از سایر ترکیب‌ها کمتر بوده است. حجم آبستنگی این ترکیب ۷۰٪ حالت پیشینه است.

۵- ترکیب P6 از نظر حجم آبستنگی عملکردی متوسط و ترکیب P9 نامساعدترین حجم آبستنگی را از خود نشان می‌دهند.

۶- آبشکن T شکل عمق آبستنگی کمی دارد اما حفرة آبستنگی ایجادشده توسط این آبشکن نسبتاً بزرگ است که همین علت باعث شده تا حجم فرسایش مربوط به این آبشکن بالا باشد. پس با توجه به موارد گفته‌شده به نظر می‌رسد عامل اصلی در انتخاب نوع ترکیب، هدف خاص و مشخص طراح است. سری آبشکن‌های P1 (T I I)، P6 (T L T) و (T T T) جز بهترین‌های این ترکیب‌ها هستند که هرکدام ویژگی‌های خاص خود را دارند که بنا به نیاز و با توجه به محدودیت‌های طراحی و در نظر گرفتن شرایط بهره‌برداری بهینه می‌توانند انتخاب شوند.

توپوگرافی بستر ترکیب P3



Erosional bed topography for P3 combination
Fig. 7. Erosional bed 3D and topography image for P1 and P3 combinations

شکل ۸. مقطع طولی وسط کانال برای آزمایش‌های P1 و P6.

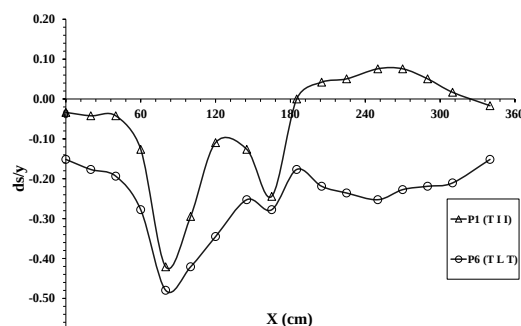
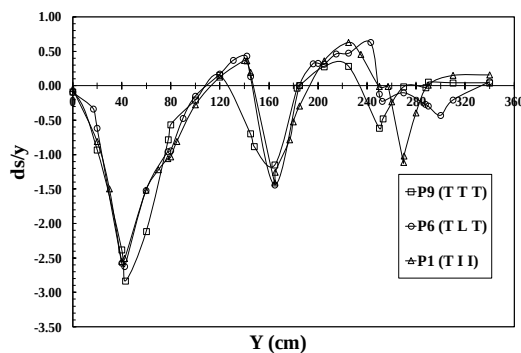


Fig. 8. Central Longitudinal section for P1 and P6 tests

شکل ۹. مقطع طولی نوک دماغه آبشکن‌ها برای آزمایش‌های P1 و P6.



شکل ۱۰. مقطع عرضی بین آبشکن دوم و سوم برای آزمایش‌های P6 و P1.

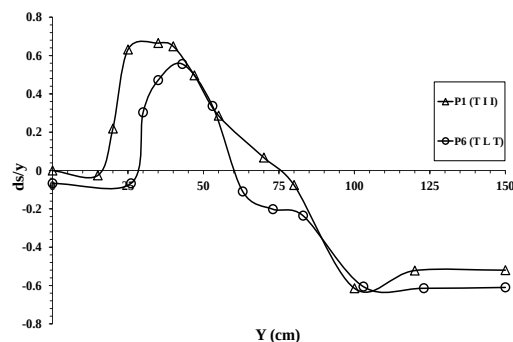


Fig. 10. Cross section between second and third spur dikes for P1 and P6 tests

۵- منابع

References

- [11] Vaghefi, M., Radan, P. 2014. Numerical study of scouring and flow patterns in a 90° with a T shaped spur dike and with a change in arc curvature radius. *Water Resources Engineering*. 7(23):37-51.
- [12] Mohsenimehr, V., Vaghefi, A., Hashemi, SH. 2015. Numerical Study of Position of T-Shaped Spur Dike on the Secondary Flow Strength Using SSIIM Software. *Journal of irrigation science and engineering*. 38(4): 165-175. (In Farsi)
- [13] Mansuri, B., Hosseinzadeh Dalir, A., Farsadizadeh, D. 2015. Experimental Study of Shape of Spur Dikes in Series to Control Scour in River Bends. *Water and soil science*. 26(1-1):69-81. (In Farsi)
- [14] Vaghefi, M., Eghbalzadeh, A., Rostamnezhad, M. 2016. Numerical study of the effect of discharge on flow pattern around a submerged spur dike in an open channel. *Water Resources Engineering*. 9(28):67-80.
- [15] Vaghefi M, Ghodsian M, Akbari M. 2016. The Effect of Secondary Flow Strength on Bed Shear Stress around T-Shaped Spur Dike Locating in Various Positions of a 90 Degree. *JWSS*. 20 (75):45-57.
- [16] Vaghefi, M., Faraji, B., Akbari, M. and Eghbalzadeh, A. 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.
- [17] Iranshahi, M., Ghodsian, M., Vaghefi, M. 2016. Flow Field and Scouring around Series of Triplex Spur Dikes in Sharp Bend. *Modares Civil Engineering Journal*, 16(3):1-12. (In Farsi)
- [18] Safarzadeh, Z. and Safarzadeh, A. 2016. Experimental Study of Turbulent Flow Structures in Two Groyne Field using PIV Method. *Modares Civil Engineering Journal (M.C.E.J)*, 16(1): 69-80. (In Farsi)
- [19] Giglou, A. N., Mccorquodale, J. A., & Solari, L. 2017. Numerical study on the effect of the spur dikes on sedimentation pattern. *Ain Shams Engineering Journal*.
- [20] Nayyer, Sh., Farzin, S., Karami, H., Rostami, M. 2017. Experimental study of the effect of spur dike's different shapes on time variation of scour depth around them. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*. (DOI): 10.22092/IDSER.2017.114741.1238. (In Farsi)
- [1] Ardeshtir, A. H. Karami and M. saneie. 2005. Experimental study on the effect of secondary groyne on local scouring around first groyne. 7th international civil engineering conference, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
- [2] Dey, S., Barbhuiya, A.K. (2005). "Time variation of scour at Abutments", *J.Hydraulic Engineering*, ASCE, 131(1): 11-23.
- [3] Karami H. saneie, M. 2005. Experimental Investigation on the Effect of Secondary Length Groyne on scouring Groynes. M.Sc. Thesis, Amir Kabir University, Iran.
- [4] Norouzi, H., Salehi Neishabouri, S.A., Nasiri Saleh, F. and Azarderakhsh, M. 2009. Three-Dimensional Numerical Simulation of Scour around a Spur Dike. *Modares Technical and Engineering Journal*. 36: 13-22. (In Farsi)
- [5] Karami, H., Ardeshtir, 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.
- [6] 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. *Journal of Iran-Water Resources Research*. 8(2): 71-79. (In Farsi)
- [7] Karami, H., Basser, H., Ardeshtir, 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.
- [8] 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 & Research (IJRTER)*. 4. 3: 382-392.
- [9] 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.
- [10] Safarzadeh, A., Salehi Neyshabouri, S. A. A., & Zarrati, A. R. 2016. Experimental Investigation on 3D Turbulent Flow around Straight and T-Shaped Groynes in a Flat Bed Channel. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(8): 04016021.

Experimental Investigation of Scouring around Different Combinations of Impermeable Series Spur dikes

Shahab Nayyer¹, Hojat Karami^{2*}, Saeed Farzin², Mohammad Rostami³

1 Ph.D Student of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan.

2 Associate Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan.

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

* Hkarami@semnan.ac.ir

Abstract

Improvement of the river route is one of the goals that considered in using a spur dike to control the flood, prevent bed erosion, stabilize and protect the walls, and set river width. Spur dikes are structures that with adjustment hydraulic conditions and make smooth flow cause to reduce flow erosion power and the ability to carry sediments. And also makes good situations for sedimentation and sides consolidation. Spur dikes are permeable and impermeable. Impermeable spur dikes have different shapes which according to erosion amount and condition can be used. Common spur dikes have simple, L and T-shaped geometric shapes. This research has been conducted to optimize the various combinations of spur dikes to reduce scouring. All of the scour and flow measurements were collected in a flume with 14 m long, 1.5 m wide, and 0.6 m deep located at the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. Impermeable spur dike with different geometric shapes were tested in a series with 3 spur dikes for different compositions in $U/U_{cr}=0.95$ conditions. Due to threshold flow condition by using Shields parameters in all tests, the calculated discharge at the mentioned conditions is 30 Lit/s. For determine the equilibrium scour depth for each geometric, control test with 30 hours have been done. The first spur dike in all combinations was T-shaped. The results show that for first spur dike in combinations, in 10% of scouring equilibrium time, about 90% of scouring occurred. So with these results, 300 min (5 hours) test time was selected for do all main tests to achieve more than 85% of scouring. Also, in the results of different tests it was observed that maximum scour depth happens around first spur dike. So geometry of first spur dike is very important in reduce average scour depth in combinations. Mean scour depth in these combinations for first, second and third position respectively are about 2.44y, 1.21y and 0.75y which in that for second and third positions with 50% and 69% have fewer scour depth in comparison with first position. Combination (T L T) is the best composition for the lowest average scour depth in all three positions, which 2 times the flow depth have erosion. The best performance in the whole range of spur dikes due to the amount of erosion volume is for the composition (T I I), that's about 70% of the massive erosion in other compositions. Mean scour depth in all positions for these 2 series are 1.39y and 1.63y. Average scour depth in (T T T) series is 1.41y which more than (T L T) combination. The reason for this results can be effect of middle L-shaped spur dike on T-shaped spur dike scour depth in third position. This effect cause to reduce scouring in about 28%. (T I I), (T L T) and (T T T) series spur dikes are the best combinations which each one has special performance, therefore, for design, the best composition should be choice for target of exploitation and optimal economic conditions.

Keywords: Combination series spur dikes, T-shaped spur dike, optimal composition, Reduce scouring, experimental investigation.