

مطالعه تأثیر هندسه آبشکن‌های بالادست و پایین دست بر عمق آبشستگی آبشکن T شکل میانی

شهاب نیر*^۱، محمد رستمی^۲، سعید فرزین^۳، حجت کریمی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- استادیار گروه آب پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۳- استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

* ایمیل نویسنده مسئول: sh.nayyer@semnan.ac.ir

خلاصه

استفاده از آبشکن‌ها، از جمله روش‌های نوین کنترل و کاهش فرسایش رودخانه‌ها می‌باشد. هدف از این مطالعه آزمایشگاهی، بررسی تأثیر آبشکن‌های I و L شکل بالادست و پایین دست بر عمق آبشستگی آبشکن T شکل میانی، برای سری آبشکن‌های ترکیبی می‌باشد. نتایج نشان داد که متوسط عمق آبشستگی آبشکن T شکل میانی، حدود ۰/۶۶ برابر عمق جریان است. بهترین عملکرد آبشکن T شکل میانی زمانی رخ می‌دهد که آبشکن بالادست و پایین دست آن L شکل باشد که مقدار آن ۰/۵۸ برابر عمق جریان است. کمترین مقدار متوسط عمق آبشستگی با توجه به همه موقعیت‌ها، مربوط به سری آبشکن (L T L) می‌باشد. متوسط عمق آبشستگی برای این ترکیب در حدود ۱/۳۱ برابر عمق جریان است. بیشترین محدوده رسوبگذاری بین آبشکن دوم و سوم است. با توجه به موارد گفته شده بهترین ترکیب در آزمایش‌های انجام شده، سری آبشکن‌های (L T L) است که از لحاظ عمق آبشستگی بسیار مناسب عمل می‌کند.

کلمات کلیدی: عمق آبشستگی، آبشکن سری، آبشکن T شکل میانی، بررسی آزمایشگاهی.

۱. مقدمه

جریان در کانال‌های باز با بستر متحرک معمولاً با انتقال رسوبات همراه است. آبشستگی یک پدیده‌ی طبیعی است که در اثر انتقال جریان آب و رسوبات، در بستر و کناره‌های فرسایش پذیر کانال‌ها و رودخانه‌ها به وجود می‌آید. فرسایش و آبشستگی می‌تواند در نتیجه تغییرات طبیعی جریان در یک کانال و یا تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی نظیر ساخت و ساز در محدوده‌ی کانال و یا برداشت مصالح از بستر اتفاق بیفتد. آبشکن‌ها از جمله سازه‌های حفاظتی می‌باشند که برای دور ساختن جریان از ساحل و حواشی آسیب پذیر رودخانه می‌توان از آن‌ها استفاده نمود. در این نوع سازه‌ها، سرعت جریان آب در میدان آبشکن تقلیل یافته و با ترسیب مواد رسوبی شرایط لازم پایداری در امتداد کناره‌ها فراهم می‌گردد. آبشکن‌های نفوذ ناپذیر دارای اشکال مختلفی نظیر آبشکن ساده، L شکل و T شکل می‌باشد. هر یک از این آبشکن‌ها دارای ویژگی‌های خاص خود هستند که نسبت به سایر شکل‌ها آن‌ها را متمایز می‌کند.

آبشکن‌ها می‌توانند به صورت تک و یا سری در مسیرهای مستقیم و یا قوسی استفاده شوند. مهمترین مسئله در استفاده از آبشکن‌ها، آبشستگی اطراف آنها است. جهت کاهش آبشستگی، همواره مدل‌های مختلفی از آبشکن‌ها استفاده شده است. یکی از این نوع آبشکن‌ها که به آن اشاره شد، آبشکن T شکل می‌باشد. این آبشکن دارای یک باله است که این باله باعث می‌شود شرایط هیدرولیک جریان اطراف آن پیچیدگی خاص خود را داشته باشد. اهمیت و پیچیدگی این شرایط به نحوی است که همواره محققین در سدد بررسی این موضوع می‌باشند. در همین راستا مطالعاتی انجام شده است که در ادامه به اهم آنها در دو دهه اخیر اشاره می‌شود.

کوهنل و همکاران با انجام آزمایش‌هایی دریافته‌اند که نسبت تنگ‌شدگی و عمق جریان رابطه قطعی با حجم گودال آبشستگی اطراف آبشکن دارد [۱]. هاشمی نجفی آزمایش‌هایی را بر روی آبشستگی آبشکن L شکل انجام داد. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن L شکل با زبانه به سمت بالادست، از آبشکن ساده بیشتر است. همچنین چنانچه از آبشکن L شکل با زبانه به سمت بالادست استفاده شود، زاویه ۶۰ درجه منجر به حداقل عمق آبشستگی شده و این زاویه برای آبشکن L شکل با زبانه به سمت پایین دست ۱۱۰ درجه است [۲]. کریمی و همکاران جهت کاهش عمق آبشستگی آبشکن‌های سری از یک آبشکن محافظ در بالادست استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد در شرایطی که آبشکن محافظ به درستی طراحی شود قادر خواهد بود تا متوسط حداکثر عمق آبشستگی را در آبشکن‌های سری کاهش دهد و همچنین پارامترهای ابعادی را جهت طراحی بهینه آبشکن

محافظ ارائه کردند. همچنین در پژوهشی دیگر آبستنگی اطراف آبشکن‌های سری ساده را بررسی کردند که نتیجه این مطالعه آن است که 80% آبستنگی در 20% اول زمان آزمایش رخ می‌دهد [۴۳]. لی و همکاران اثر آبشکن نفوذپذیر را بر روی رسوب و آبستنگی مطالعه کردند و میانگین سرعت جریان و ارتفاع رسوب در مقطع بالادست و پایین دست آبشکن و حداکثر عمق آبستنگی در نوک آبشکن را اندازه‌گیری کردند که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده اثر مثبت آبشکن بر روی آبستنگی و رسوب بوده است [۵]. لودهی و همکاران در تحقیقات خود، تأثیر چسبندگی در اطراف آبشکن در خاک مخلوط رس، شن و ماسه بررسی شد و روابطی برای ارزیابی عمق آبستنگی در دماغه و پی آبشکن مستغرق در رسوبات مخلوط منسجم ارائه شد [۶].

صانعی و همکاران اثر تنگ‌شدگی و زاویه در کاهش آبستنگی اولین آبشکن را بررسی کردند. ایشان همچنین راه‌های کاهش فرسایش در دماغه اولین آبشکن آزمایش نمودند. برای این منظور از یک آبشکن کوتاه‌تر (فرعی) در بالادست اولین آبشکن استفاده شد. که به دو صورت عمود بر جریان و زاویه‌دار نسبت به جریان قرار گرفت. نهایتاً نتایج را بر اساس برازش رگرسیونی بر داده‌های آزمایشگاهی به صورت رابطه‌ای جهت تخمین میزان کاهش آبستنگی دماغه اولین آبشکن نسبت به دو حالت بدون آبشکن فرعی و با آن ارائه دادند [۷]. آزمایش‌هایی توسط واقفی و همکاران، جهت تعیین الگوی آبستنگی در اطراف آبشکن T شکل مستقر در قوس 90° درجه انجام گرفت. نشان داده شد که با افزایش طول آبشکن، آبستنگی بیشینه و ابعاد چاله آبستنگی بیشتر می‌شود، در حالی که از میزان آبستنگی در پایین دست آبشکن و سواحل خارجی کاسته می‌شود. از دیگر نتایج این مطالعه آن است که با افزایش عدد فرود جریان آبستنگی بیشینه و ابعاد چاله آبستنگی بیشتر می‌شود و آبستنگی پایین دست آبشکن نیز گسترش پیدا می‌کند [۸]. موسوی نائینی و همکاران الگوی جریان اطراف آبشکن T شکل را در قوس 90° درجه با بستر صلب به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج نشان داد که الگوی جریان شکل گرفته پیرامون آبشکن T شکل، تشکیل دو گردابه پاد ساعتگرد در بالادست و پایین دست آبشکن را به همراه خواهد داشت [۹]. امیربهداری در تحقیقات آزمایشگاهی خود بر روی تأثیر طول، زبری و زاویه بدنه آبشکن بر عمق آبستنگی در دو آبشکن متوالی نشان داد که با افزایش اندازه متوسط زبری‌ها عمق آبستنگی کاهش بیشتری می‌یابد. همچنین بیان کردند که با افزایش طول آبشکن عمق آبستنگی به میزان $62/5\%$ درصد در آبشکن اول و $17/9\%$ درصد در آبشکن دوم افزایش می‌یابد. در تمامی آزمایشات آبشکن اول سبب کاهش آبستنگی در آبشکن دوم شده است و به عنوان یک محافظ برای آبشکن دوم عمل می‌کند [۱۰]. ایرانشاهی و همکاران آبشکن سر سپری را به صورت سری در قوس تند مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد میزان آبستنگی برای آبشکن اول بیش از آبشکن دوم و سوم می‌باشد. این مسئله نشان‌دهنده آن است که بستر پیرامون آبشکن اول باید با استفاده از روش‌های حفاظتی، در برابر آبستنگی محافظت شود [۱۱].

بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهد که تاکنون مقایسه آبستنگی آبشکن‌های سری ۳ تایی با ترکیب‌های مختلف به نحوی که تأثیر آبشکن بالادست و پایین دست بر آبستنگی آبشکن میانی بررسی شود انجام نشده است. لذا در این پژوهش آزمایشگاهی با در نظر گرفتن آبشکن T شکل میانی ثابت، اثر حضور آبشکن‌های ساده و L شکل در ترکیب‌های مختلف در بالادست و پایین دست بر آبستنگی آبشکن میانی بررسی می‌شود. در این آزمایش‌ها با در نظر گرفتن شرایط $U/U_{cr} \approx 1$ ، عمق آبستنگی در آبشکن میانی و بستر فرسایش پذیر اندازه‌گیری می‌شود. در ادامه، نتایج جهت یافتن ترکیب بهینه با توجه به آبشکن میانی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند.

۲. مواد و روش‌ها

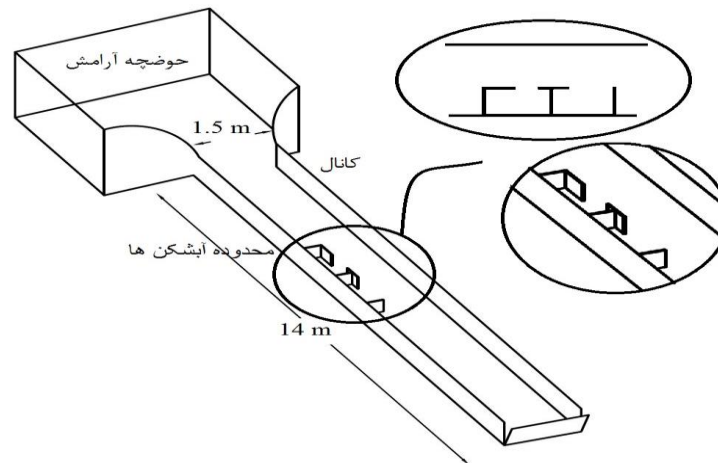
جهت انجام آزمایش‌ها از رسوبات با $D_{50} = 1\text{mm}$ و $\sigma_g = 1.41$ در یک کانال روباز مستقیم با طول 14 متر و عرض $1/5$ متر استفاده شد (شکل ۱). در آزمایش‌ها از آبشکن‌های سری (۳ تایی) با شکل‌های متفاوت استفاده شده است. آبشکن وسط ثابت و T شکل و سایر آبشکن‌ها به صورت ساده و L شکل متغیر هستند. شرایط جریان به صورت آستانه حرکت در نظر گرفته شده است و با استفاده از منحنی شیلدز و عمق جریان، دبی مورد استفاده با توجه به ابعاد کانال محاسبه گردیده است که برابر با $28/5$ لیتر بر ثانیه بدست آمده است. همچنین آبشکن‌ها در طولی قرار داده شده اند که جریان توسعه یافته باشد و این توسعه با توجه به اندازه‌گیری‌های جریانی بررسی شد. پارامترهای هندسی آبشکن‌ها به صورت $a = 3L$ ، $L_1 / L = 1$ و $L / B = 23\%$ می‌باشد. B عرض کانال، L طول جان آبشکن، L_1 طول باله آبشکن، a فاصله جان آبشکن‌ها از یکدیگر است. برای اندازه‌گیری عمق فرسایش از دستگاه بسترسنج با دقت 1 میلی‌متر استفاده شده است.

جهت انجام آزمایش از ترکیب‌های مختلفی از آبشکن‌های ساده و L شکل به صورت سری ۳ تایی استفاده شده است. آبشکن دوم در همه این ترکیب‌ها، T شکل بوده است. ۴ ترکیب مورد استفاده در آزمایش‌های این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است. به طور مثال ترکیب T3 شامل

آبشکن L شکل در موقعیت اول، آبشکن T در موقعیت دوم و آبشکن ساده در موقعیت سوم است. نحوه قرارگیری آبشکن ها در فلوم آزمایشگاهی برای این ترکیب در شکل ۱ نشان داده شده است.

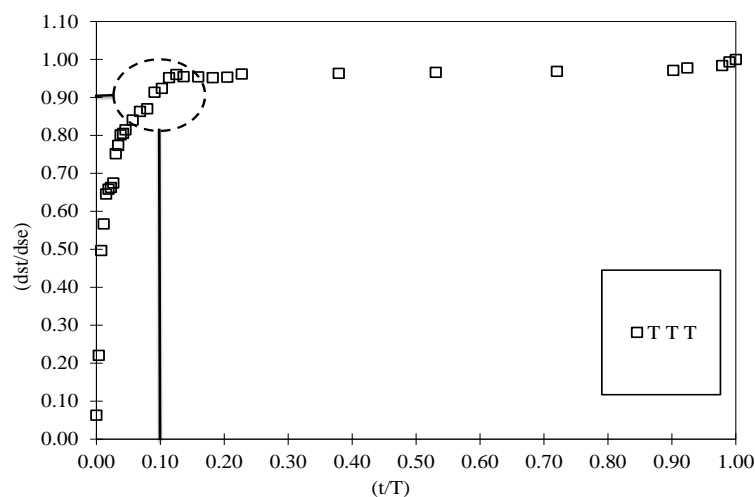
جدول ۱- ترکیب آبشکن ها

Test No.	SD1	SD2	SD3
T1	I	T	I
T2	I	T	L
T3	L	T	I
T4	L	T	L



شکل ۱- کانال آزمایش و جانمایی آبشکن های ترکیب T3 در آن

به منظور مقایسه ترکیب های مختلف، آزمایش شاهد جهت رسیدن به یک مدت زمان مناسب جهت بررسی همه تست ها، برای ترکیب آبشکن های سری (T T T) به مدت ۳۰ ساعت انجام شد و عمق آبشستگی در زمان های مشخص برداشت گردید. بر اساس شکل ۲ نتایج حاصل از این آزمایش ها نشان داد که ترکیب (T T T) در مدت ۱۰٪ زمان تعادل به بیش از ۹۰٪ عمق تعادلی خود رسیده است. لذا با توجه به زمان آزمایش شاهد انجام شده، مدت ۵ ساعت جهت انجام همه آزمایش های مقایسه ای برای ترکیب های مختلف در نظر گرفته شد.



شکل ۲- درصد نسبی عمق آبشستگی با توجه به درصد نسبی زمان آبشستگی

۳. نتایج و بحث

هدف از انجام آزمایش بررسی و مقایسه عمق آبستگي در آبشكن‌ها با شكل هندسي مختلف بوده است. عمق آبستگي موضعي در آبشكن‌هاي سري اندازه‌گيري شد و مورد تحليل و بررسي قرار گرفت تا بهره‌برداري از آبشكن T شكل در شرايطي كه در وسط آبشكن‌هاي سري قرار مي‌گيرد بهينه‌سازي شود. جدول ۲ عمق آبستگي برداشت شده در آبشكن‌هاي سري با دبي ۲۸/۵ ليتر بر ثانيه را نشان مي‌دهد. بر اساس نتايج اين جدول مشاهده مي‌شود تفاوت معناداري در آبستگي آبشكن T شكل ميانى وجود دارد كه مي‌تواند اين تفاوت به دليل شكل‌هاي مختلف آبشكن‌هاي مجاور باشد.

با توجه به نتايج، متوسط عمق آبستگي براي آبشكن T شكل ميانى در همه آزمايش‌ها، ۰/۶۶ برابر عمق جريان است. اين آبستگي براي حالي كه آبشكن بالادست آن L شكل باشد حدود ۰/۵۸ برابر عمق جريان است كه كمترين مقدار متوسط را با توجه به آبشكن بالادستي خود دارد. اين در حالي است كه عمق آبستگي آبشكن L شكل بالادست، در حدود ۲/۶۶ برابر عمق جريان است. علت اين نتيجه مي‌تواند به دليل ايجاد ميدان گردابه‌اي بسيار آرام در بين دو آبشكن اول و دوم باشد. در واقع آبشكن اول كه به شكل L مي‌باشد مانع از ورود جريان قوي به ميدان دو آبشكن مي‌شود. همچنين نزديك بودن باله دو آبشكن به يكديگر نسبت به ساير تركيب‌ها باعث شده تا فاصله دو آبشكن حداقل شود. اين فاصله حداقلی و همچنين عدم ورود جريان قوي به ميدان دو آبشكن باعث مي‌شود تا فرسايش کاهش يابد. عامل ديگري نيز وجود دارد كه اين فرسايش را به حداقل مقدار خود مي‌رساند؛ اين عامل ورود رسوبات معلق و متحرك ناشي از فرسايش آبشكن اول به داخل حفره آبستگي آبشكن دوم است. ورود رسوبات بالادست باعث کاهش عمق آبستگي آبشكن ميانى مي‌شود و بين ورود رسوبات و فرسايش حفره آن يك تعادل ايجاد مي‌شود. بنا بر اين بهترين آبشكن براي بالادست آبشكن T شكل ميانى، آبشكن L شكل مي‌باشد كه حداقل آبستگي را براي اين آبشكن ايجاد مي‌كند.

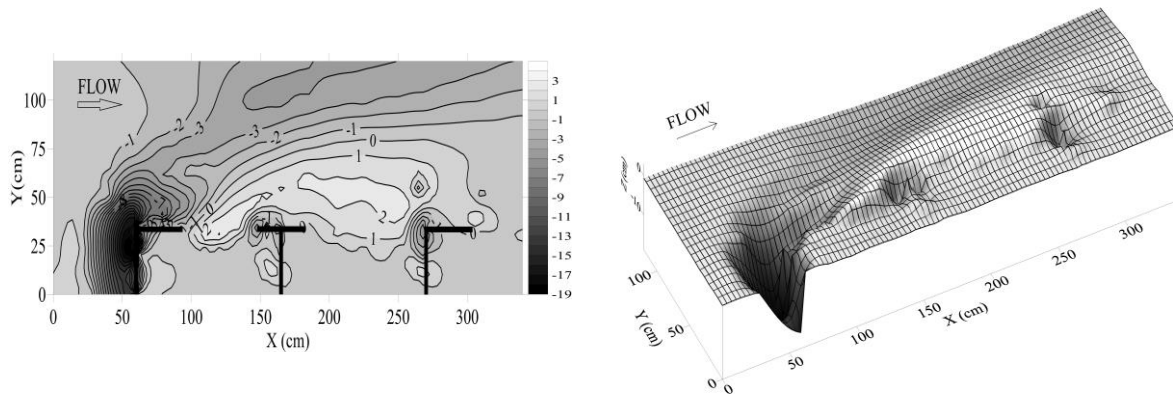
جدول ۲ - آبستگي آبشكن‌هاي تركيب‌هاي مختلف نسبت به عمق جريان

Test No.	ds1/y	ds2/y	ds3/y	(ds/y) _{ave}
T1	۲/۶۰	۰/۷۴	۰/۹۱	۱/۴۱
T2	۲/۶۲	۰/۷۴	۰/۶۳	۱/۳۳
T3	۲/۶۸	۰/۶۱	۰/۹۳	۱/۴۰
T4	۲/۶۶	۰/۵۸	۰/۷۴	۱/۳۲

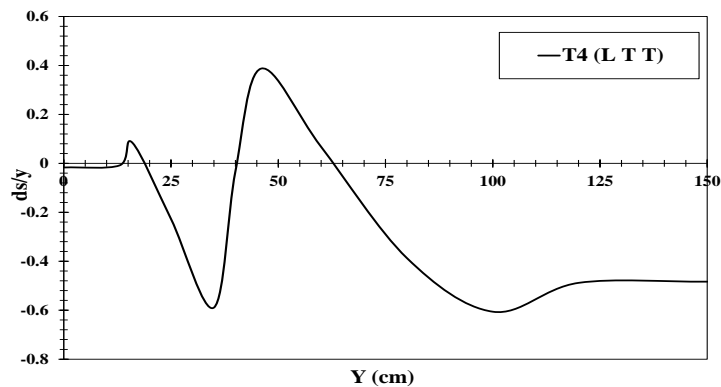
جهت بررسي آبستگي آبشكن T شكل ميانى با توجه به آبشكن پايين دست آن، مشاهده مي‌شود تاثير آبشكن پايين دست نسبت به آبشكن بالادست به دليل شدت جريان و يا سرعت آن ناچيز است، و آبشكن ميانى بيشتر تحت تاثير بالادست خود است. همانطور كه در جدول ۲ مشخص است آبستگي آبشكن ميانى در حالي كه آبشكن پايين دست L شكل است كمترين مقدار آبستگي را دارا است. نهايتاً با در نظر گرفتن مقادير حداقلی آبستگي براي آبشكن ميانى، مي‌توان به اين نتيجه رسيد كه بهترين هندسه براي بالادست و پايين دست آن، آبشكن L شكل مي‌باشد. بنا بر اين با توجه به جدول ۱ تركيبی كه اين دو حالت را همزمان داراست (L T L) T4 مي‌باشد. با توجه به جدول ۲، تركيب T4 نيز داراي كمترين مقدار متوسط آبستگي مي‌باشد كه مقدار آن ۱/۳۲ برابر عمق جريان است. يعني اين تركيب علاوه بر اينكه بهترين عملکرد را براي آبشكن ميانى دارد، به صورت عملکرد يكپارچه نيز داراي كمترين مقدار متوسط آبستگي نيز هست.

شكل ۳ تصوير سه‌بعدي و توپوگرافي از آبستگي تركيب T4 را نشان مي‌دهد. مشاهده مي‌شود كه در محل آبشكن دوم آبستگي بيشتر در نوک باله در بالادست اتفاق افتاده است. علاوه بر آبستگي، رسوب‌گذاري در اين تركيب نيز قابل مشاهده است. همانطور كه مشخص است رسوب‌گذاري آبشكن بالادست به گونه‌اي است كه پشته‌هاي آن ديواره‌هاي حفره آبستگي آبشكن ميانى را تشكيل داده‌اند. همچنين محدوده رسوب‌گذاري بين آبشكن دوم و سوم نيز مشاهده ميشود كه تا وسط مقطع عرضي كانال نيز ادامه دارد.

جهت بررسي دقيق تر شرايط آبستگي آبشكن ميانى، مقطع عرضي در محل نوک باله بالادست آبشكن T در شكل ۴ مشخص شده است. بستر از ديواره تا نزديكي نوک باله داراي فرسايش نيست و با نزديك شدن به نوک آبشكن آبستگي آغاز مي‌شود. بنا بر اين آبشكن‌ها از ديواره مجاور به خوبي محافظت مي‌كنند. همانطور كه مشاهده مي‌شود آبستگي در اين آبشكن به دو قسمت تقسيم شده است. قسمت اول حفره اي است كه اطراف نوک باله ايجاد مي‌شود كه بلافاصله بعد از نوک باله روند فرسايش تغيير کرده و رسوب‌گذاري آغاز مي‌شود؛ كه علت اصلي اين رسوب‌گذاري آبشكن L شكل بالادست و همچنين هندسه آبشكن ميانى است. قسمت دوم سطح شسته شده‌اي است كه حدوداً بعد از مقطع ميانى كانال ايجاد شده است كه به دليل تنگ‌شدگي كانال در محل آبشكن‌ها، افزايش سرعت جريان و انتقال حجم جريان به سمت مخالف آبشكن‌ها مي‌باشد.



شکل ۳- تصویر سه بعدی و توپوگرافی آبستگی نهایی پیرامون ترکیب T4 (LTL)



شکل ۴- عمق بی بعد آبستگی در یک مقطع عرضی ترکیب T4 (LTL)

۴. نتایج

در این پژوهش، آبستگی اطراف ترکیب‌های مختلفی از آبشکن‌های سری در حالتی که آبشکن دوم ثابت و به صورت T شکل بود انجام گرفت. با توجه به هندسه‌های مورد مطالعه (ساده و L شکل) تمام حالات ترکیب‌های ممکن پیش‌بینی شد و با دبی ثابت و در حالت $U/U_{cr} \approx 1$ آزمایش شدند. جهت مقایسه ترکیب‌ها در یک زمان یکسان، آزمایش شاهد انجام شد و مدت زمان ۵ ساعت برای داشتن بیش از ۹۰٪ آبستگی در همه ترکیب‌ها در نظر گرفته شد. آبستگی در تمام محدوده آزمایش برداشت شد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده نتایج ذیل حاصل می‌شود:

- ۱- عمق آبستگی آبشکن T در جایگاه دوم به‌طور متوسط برای همه ترکیب‌ها حدوداً ۰/۶۶ برابر عمق جریان می‌باشد.
- ۲- بهترین عملکرد برای آبشکن بالادست مربوط به آبشکن L شکل است که باعث می‌شود آبشکن T شکل میانی در حدود ۰/۵۸ برابر عمق جریان فرسایش داشته باشد.
- ۳- عمق آبستگی آبشکن L شکل در جایگاه اول حدوداً ۲/۶۷ برابر عمق جریان است.
- ۴- مناسب‌ترین عملکرد برای آبشکن پایین دست مربوط به آبشکن L است که در حضور این آبشکن در پایین دست، آبشکن میانی ۰/۵۸ برابر عمق جریان دچار فرسایش می‌شود.
- ۵- ترکیب T4 (LTL) با توجه نتایج فوق بهترین ترکیب برای حداقل کردن فرسایش آبشکن میانی است.
- ۶- کمترین عمق آبستگی متوسط در ترکیب‌ها مربوط به ترکیب T4 است که به صورت متوسط ۱/۳۲ برابر عمق جریان فرسایش دارد.
- ۷- محدوده رسوبگذاری در ترکیب T4 بیشتر بین آبشکن دوم و سوم است که تا وسط مقطع عرضی ادامه دارد.

۵. منابع

1. Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., Shields, F. D. (1999). Geometry of scour holes associated with 90 spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(9), 972-978.
2. Hashemi Najafi, F. (2008). Experimental investigation of scouring around L-head groynes under clear water condition. M.Sc. Thesis, Tarbiat modares university, Iran.
3. Karami, H., Ardeshir, A., Behzadian, K., Ghodsian, M. (2011). Protective spur dike for scour mitigation of existing spur dikes. *Journal of Hydraulic Research*, 49(6), 809-813.
4. Karami, H., Bassar, H., Ardeshir, A., Hosseini, S. H. (2014). Verification of numerical study of scour around spur dikes using experimental data. *Water and Environment Journal*, 28(1), 124-134.
5. Li, Y., & Altinakar, M. Effects of a Permeable Hydraulic Flashboard Spur Dike on Scour and Deposition. In *World Environmental and Water Resources Congress 2016* (pp. 399-409).
6. Lodhi, A. S., Jain, R. K., and Sharma, P. K. (2016). Influence of cohesion on scour around submerged dike founded in clay-sand-gravel mixtures. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 22(1), 70-87.
۷. صانعی، م.، بنی‌هاشمی، م.ع.، قربانی خانی، ح. (۱۳۸۴). بررسی آزمایشگاهی اثر تنگ‌شدگی و زاویه در کاهش آب‌شستگی اولین آب‌شکن. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، مقاله ۱۷۱.
۸. واقفی، م.، قدسیان، م.، صالحی نیشابوری، س.ع. (۱۳۸۷). مطالعه آزمایشگاهی الگوی آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل منفرد مستقر در قوس ۹۰ درجه، نشریه تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۴، شماره ۳، ۵۷-۶۹.
۹. موسوی نائینی، س.ع.، واقفی، م.، قدسیان، م. (۱۳۹۱). بررسی آزمایشگاهی تاثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن تی شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر صلب. مجله آب و فاضلاب، جلد ۲۳، شماره ۱، ۱۵-۲۳.
۱۰. امیربهداری اربط، ز. (۱۳۹۴). بررسی آزمایشگاهی تأثیر توأم طول، زبری و زاویه بدنه آبشکن بر عمق آبشستگی در دو آبشکن متوالی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۱۱. ایرانشاهی، م.، قدسیان، م.، واقفی، م. (۱۳۹۵). الگوی جریان و آبشستگی سری سه‌تایی آبشکن‌های سرسپری در قوس تند. مهندسی عمران مدرس، دوره ۱۶، شماره ۳، ۱-۱۲.