

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

شهاب نیر\*<sup>۱</sup>، محمد رستمی<sup>۲</sup>، سعید فرزین<sup>۳</sup>، حجت کریمی<sup>۳</sup>

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 می‌کنند.

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  $90^\circ$  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  $90^\circ$  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

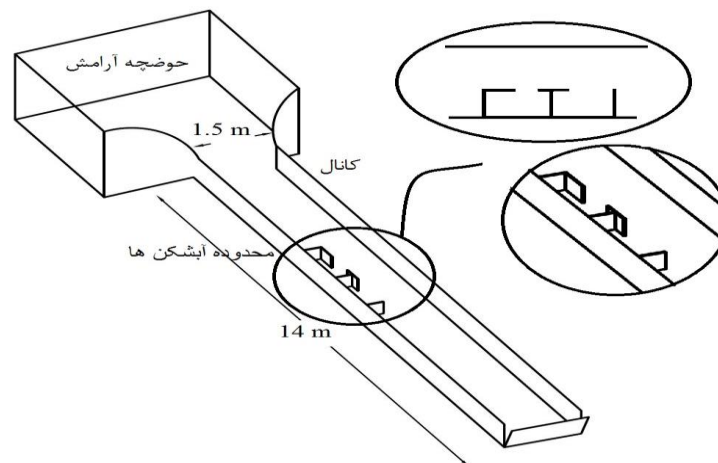
جهت انجام آزمایش‌ها از رسوبات با  $D_{50}=1\text{mm}$  و  $\sigma_g=1.41$  در یک کانال روباز مستقیم با طول  $14$  متر و عرض  $1/5$  متر استفاده شد (شکل ۱). در آزمایش‌ها از آبشکن‌های سری (۳ تایی) با شکل‌های متفاوت استفاده شده است. آبشکن وسط ثابت و T شکل و سایر آبشکن‌ها به صورت ساده و L شکل متغیر هستند. 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.

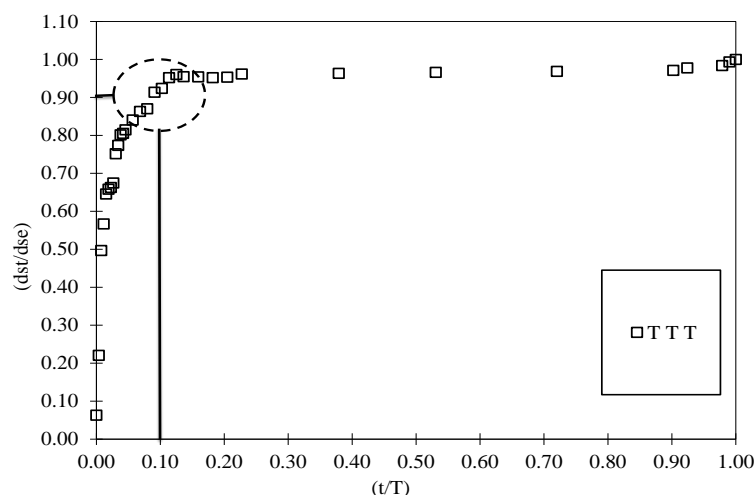
جدول ۱- ترکیب آبشکن ها

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 آبشکن‌ها با شکل هندسی مختلف بوده است. عمق آبستگي موضعی در آبشکن‌های سری اندازه‌گیری شد و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت تا بهره‌برداری از آبشکن T شکل در شرایطی که در وسط آبشکن‌های سری قرار می‌گیرد بهینه‌سازی شود. جدول ۲ عمق آبستگي برداشت شده در آبشکن‌های سری با دبی ۲۸/۵ لیتر بر ثانیه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول مشاهده می‌شود تفاوت معناداری در آبستگي آبشکن T شکل میانی وجود دارد که می‌تواند این تفاوت به دلیل شکل‌های مختلف آبشکن‌های مجاور باشد.

با توجه به نتایج، متوسط عمق آبستگي برای آبشکن T شکل میانی در همه آزمایش‌ها، ۰/۶۶ برابر عمق جریان است. این آبستگي برای حالتی که آبشکن بالادست آن L شکل باشد حدود ۰/۵۸ برابر عمق جریان است که کمترین مقدار متوسط را با توجه به آبشکن بالادستی خود دارد. این در حالی است که عمق آبستگي آبشکن L شکل بالادست، در حدود ۲/۶۶ برابر عمق جریان است. علت این نتیجه می‌تواند به دلیل ایجاد میدان گردابه‌ای بسیار آرام در بین دو آبشکن اول و دوم باشد. در واقع آبشکن اول که به شکل L می‌باشد مانع از ورود جریان قوی به میدان دو آبشکن می‌شود. همچنین نزدیک بودن باله دو آبشکن به یکدیگر نسبت به سایر ترکیب‌ها باعث شده تا فاصله دو آبشکن حداقل شود. این فاصله حداقلی و همچنین عدم ورود جریان قوی به میدان دو آبشکن باعث می‌شود تا فرسایش کاهش یابد. عامل دیگری نیز وجود دارد که این فرسایش را به حداقل مقدار خود می‌رساند؛ این عامل ورود رسوبات معلق و متحرک ناشی از فرسایش آبشکن اول به داخل حفره آبستگي آبشکن دوم است. ورود رسوبات بالادست باعث کاهش عمق آبستگي آبشکن میانی می‌شود و بین ورود رسوبات و فرسایش حفره آن یک تعادل ایجاد می‌شود. بنابراین بهترین آبشکن برای بالادست آبشکن T شکل میانی، آبشکن L شکل می‌باشد که حداقل آبستگي را برای این آبشکن ایجاد می‌کند.

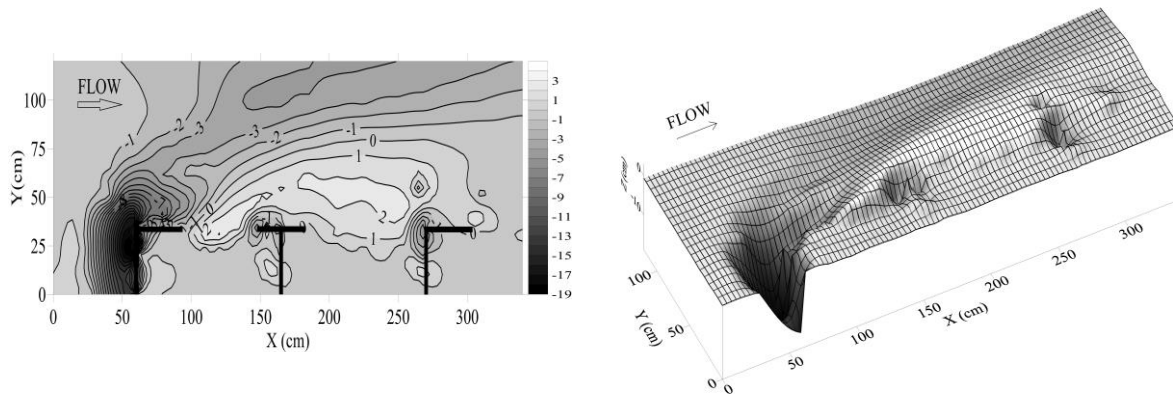
جدول ۲ - آبستگي آبشکن‌های ترکیب‌های مختلف نسبت به عمق جریان

Test No.	ds1/y	ds2/y	ds3/y	(ds/y) <sub>ave</sub>
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

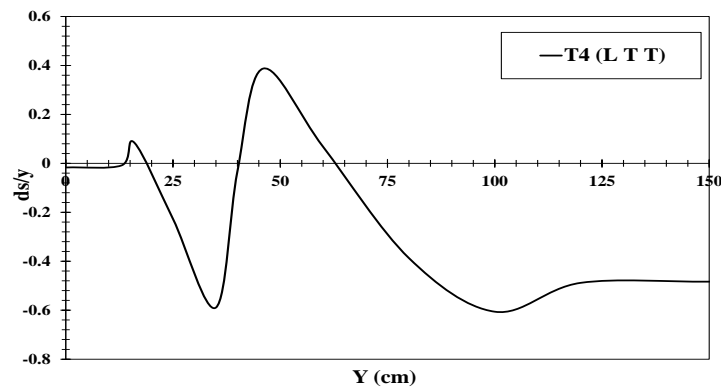
جهت بررسی آبستگي آبشکن T شکل میانی با توجه به آبشکن پایین دست آن، مشاهده می‌شود تأثیر آبشکن پایین دست نسبت به آبشکن بالادست به دلیل شدت جریان و یا سرعت آن ناچیز است، و آبشکن میانی بیشتر تحت تأثیر بالادست خود است. همانطور که در جدول ۲ مشخص است آبستگي آبشکن میانی در حالتی که آبشکن پایین دست L شکل است کمترین مقدار آبستگي را دارا است. نهایتاً با در نظر گرفتن مقادیر حداقلی آبستگي برای آبشکن میانی، می‌توان به این نتیجه رسید که بهترین هندسه برای بالادست و پایین دست آن، آبشکن L شکل می‌باشد. بنابراین با توجه به جدول ۱ ترکیبی که این دو حالت را همزمان داراست (L T L) می‌باشد. با توجه به جدول ۲، ترکیب T4 نیز دارای کمترین مقدار متوسط آبستگي می‌باشد که مقدار آن ۱/۳۲ برابر عمق جریان است. یعنی این ترکیب علاوه بر اینکه بهترین عملکرد را برای آبشکن میانی دارد، به صورت عملکرد یکپارچه نیز دارای کمترین مقدار متوسط آبستگي نیز هست.

شکل ۳ تصویر سه‌بعدی و توپوگرافی از آبستگي ترکیب T4 را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در محل آبشکن دوم آبستگي بیشتر در نوک باله در بالادست اتفاق افتاده است. علاوه بر آبستگي، رسوب‌گذاری در این ترکیب نیز قابل مشاهده است. همانطور که مشخص است رسوب‌گذاری آبشکن بالادست به گونه‌ای است که پشته‌های آن دیواره‌های حفره آبستگي آبشکن میانی را تشکیل داده‌اند. همچنین محدوده رسوب‌گذاری بین آبشکن دوم و سوم نیز مشاهده می‌شود که تا وسط مقطع عرضی کانال نیز ادامه دارد.

جهت بررسی دقیق‌تر شرایط آبستگي آبشکن میانی، مقطع عرضی در محل نوک باله بالادست آبشکن T در شکل ۴ مشخص شده است. بستر از دیواره تا نزدیکی نوک باله دارای فرسایش نیست و با نزدیک شدن به نوک آبشکن آبستگي آغاز می‌شود. بنابراین آبشکن‌ها از دیواره مجاور به خوبی محافظت می‌کنند. همانطور که مشاهده می‌شود آبستگي در این آبشکن به دو قسمت تقسیم شده است. قسمت اول حفره ای است که اطراف نوک باله ایجاد می‌شود که بلافاصله بعد از نوک باله روند فرسایش تغییر کرده و رسوب‌گذاری آغاز می‌شود؛ که علت اصلی این رسوب‌گذاری آبشکن L شکل بالادست و همچنین هندسه آبشکن میانی است. قسمت دوم سطح شسته شده‌ای است که حدوداً بعد از مقطع میانی کانال ایجاد شده است که به دلیل تنگ‌شدگی کانال در محل آبشکن‌ها، افزایش سرعت جریان و انتقال حجم جریان به سمت مخالف آبشکن‌ها می‌باشد.



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 به طور 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.، قربانی‌خانی، ح. (۱۳۸۴). بررسی آزمایشگاهی اثر تنگ‌شدگی و زاویه در کاهش آب‌شستگی اولین آب‌شکن. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، مقاله ۱۷۱.
۸. واقفی، م.، قدسیان، م.، صالحی‌نیشابوری، 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. امیربهداری‌اربط، ز. (۱۳۹۴). بررسی آزمایشگاهی تأثیر توأم طول، زبری و زاویه بدنه آبشکن بر عمق آبشستگی در دو آبشکن متوالی. پایان‌نامه 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.