

## بررسی آزمایشگاهی عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های L شکل در شرایط آب زلال

سیدفضل‌اله هاشمی نجفی<sup>۱</sup>، سیدعلی ایوب‌زاده<sup>۲</sup> و \*امیراحمد دهقانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس، <sup>۲</sup> استادیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس، <sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی

آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱/۲۷

### چکیده

آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که معمولاً در حفاظت دیواره خارجی قوس‌ها و طرح‌های اصلاح مسیر رودخانه، مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله مسائل مهم در طراحی آبشکن‌ها، پدیده آبشستگی موضعی دماغه آن‌ها می‌باشد که به علت تنگ‌شدگی مقطع جریان و وجود گردابه‌های قوی به وجود می‌آید. مروری بر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که اکثر تحقیقات بر روی آبشکن‌های تیغه‌ای استوار بوده و تحقیقات اندکی بر روی آبشکن‌های L- شکل صورت گرفته است. به این منظور این تحقیق بر روی آبشکن‌های L شکل انجام شده است. در این تحقیق ابتدا به بررسی آزمایشگاهی آبشستگی در شرایط جریان آب زلال بر روی آبشکن L- شکل با زبانه به سمت بالادست و پایین دست و آبشکن تیغه‌ای پرداخته شد و سپس تأثیر زاویه زبانه آبشکن L- شکل بر روی حداکثر عمق آبشستگی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با استفاده از آنالیز ابعادی، عوامل بی‌بعد استخراج و با انجام مطالعات آزمایشگاهی و برازش رگرسیونی بر داده‌های به دست آمده، رابطه‌ای جهت تخمین میزان عمق آبشستگی ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن L- شکل با زبانه به سمت بالادست از آبشکن تیغه‌ای کمتر 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 می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آبشکن L- شکل، آبشستگی، آب زلال، زاویه آبشکن، بررسی آزمایشگاهی

### مقدمه

حفاظت سواحل، ساخت سازه‌هایی است که بر خطوط جریان تأثیر گذاشته و موجب انحراف آنها از دیواره‌های فرسایش‌پذیر به قسمت‌های میانی رودخانه می‌شود و یا کاهش سرعت از شدت برخورد جریان با دیواره‌ها کاسته و توانایی رسوب‌گذاری جریان را افزایش می‌دهند، که ساخت انواع آبشکن از این روش‌ها می‌باشد. آبشکن‌ها، سازه‌هایی هستند که به صورت عرضی از

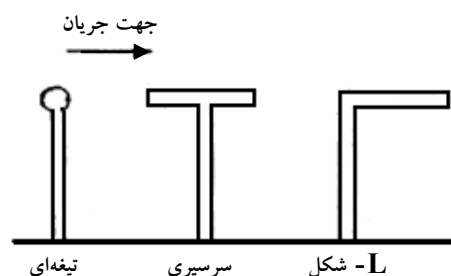
رودخانه‌ها در مسیر تکاملی خود همواره دستخوش تغییر و تحول و دگرگونی بوده‌اند. فرسایش جداره‌ها و بستر رودخانه و رسوب‌گذاری در قسمت‌های دیگر از جمله این تغییرات می‌باشند که برای ساکنین حاشیه رودخانه پدیده نامطلوبی می‌باشد. از جمله روش‌های

جریان و زاویه آبشکن با جریان بر روی عمق آبشستگی انجام داد، اندازه متوسط مصالح بستر در این تحقیقات بین ۰/۳۷ تا ۰/۷ میلی متر بوده است. ایزارد و برادلی (۱۹۵۷) بیان داشتند که اندازه رسوبات فقط بر روی سرعت گسترش آبشستگی اثر گذاشته و تأثیری بر روی حداکثر عمق آن ندارد. گاردی و همکاران (۱۹۶۱) آزمایشاتی با ۴ اندازه آبشکن انجام داد، براساس یافته‌های این محقق عدد فرود یک پارامتر مهم بر روی آبشستگی ناشی از تنگ شدگی می‌باشد. همچنین لیو و همکاران (۱۹۶۱) اعلام کردند که سرعت متوسط جریان از پارامترهای مهم در حرکت رسوبات می‌باشد. گیل (۱۹۷۲) بیان داشت عمق آبشستگی تحت تأثیر دو عامل مهم اندازه مصالح بستر و عمق جریان یکنواخت بالادست آبشکن می‌باشد. زاغلول (۱۹۸۳) آزمایشاتی برای یافتن اثرات شرایط جریان بالادست، خصوصیات رسوبات و شکل آبشکن بر روی حداکثر عمق آبشستگی انجام داده است. مل ویل (۱۹۹۲) رابطه‌ای تجربی برای پیش‌بینی حداکثر عمق فرسایش موضعی در آبشکن‌ها ارائه داده است، این محقق حداکثر عمق آبشستگی را به طول آبشکن مربوط کرده است. کوهنل و همکاران (۱۹۹۹) تحقیقاتی بر روی توپوگرافی گودال ایجاد شده در اطراف آبشکن ۹۰ درجه انجام داده‌اند، بنا به گزارش این محققین محل ایجاد حداکثر فرسایش از بالادست آبشکن به پایین دست آبشکن تغییر مکان می‌دهد. اتما و موسته (۲۰۰۴) با استفاده از یک سری از داده‌های آزمایشگاهی به تعیین تأثیر مقیاس در مدل‌های با مقیاس کوچک پرداخت.

ساحل رودخانه به طرف محور آن و با زوایای مختلف نسبت به کناره رودخانه تا فاصله‌ای امتداد می‌یابند. احداث سازه‌هایی نظیر آبشکن در مقابل جریان، باعث ایجاد جریان آشفته چرخشی و گردابی در اطراف آن خواهد شد. این جریان‌های گردابی به همراه تمرکز شدید سرعت‌ها و آشفته‌گی در دماغه بالادست، مکانیزم اصلی آبشستگی موضعی به حساب می‌آیند. ترکیب این فاکتورها منجر به برداشته شدن مواد بستر از حوالی تکیه‌گاه و توسعه یک حفره آبکند می‌گردد که در دراز مدت باعث ایجاد حفره‌های بزرگ در محل نوک آبشکن شده و احتمال شکست سازه را به دنبال خواهد داشت. اگرچه تاکنون در اغلب موارد از آبشکن‌های تیغه‌ای استفاده شده است ولی با این حال آبشکن‌ها با شکل‌های مختلف دماغه نیز کاربردهایی داشته و دارند. از جمله این گروه آبشکن‌ها می‌توان به آبشکن‌های تیغه‌ای، سرسپری، سرکج (L شکل) و... اشاره کرد (شکل ۱).

یکی از شاخص‌های مهم در تعیین مشخصات حفره‌ی آبشستگی، حداکثر عمق آبشستگی می‌باشد. عمده تحقیقات گذشته بر روی آبشکن‌های تیغه‌ای انجام گرفته است. در مطالب زیر به برخی از مهم‌ترین تحقیقات صورت گرفته بر روی موضوع انواع آبشکن‌ها اشاره شده است:

احمد، ۱۹۵۱ مطالعه بر روی آبشکن‌های سرسپری منفرد نشان داد که آبشکن‌های سرسپری در مقایسه با آبشکن تیغه‌ای از نظر میزان مصالح مصرفی اقتصادی‌تر هستند. همچنین این محقق مطالعاتی در مورد رفتار آبشکن تیغه‌ای و اثر تغییرات دبی، مصالح بستر، شرایط



شکل ۱- تقسیم‌بندی آبشکن‌ها از نظر شکل هندسی.

۳- عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: سرعت متوسط جریان در مقطع قبل از آبشکن ( $U$ )، عمق جریان ( $h$ )، عمق آبشستگی در دماغه آبشکن ( $h_s$ )، شتاب ثقل ( $g$ ).

۴- عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر: قطر متوسط رسوبات بستر ( $d_{50}$ )، چگالی مصالح ( $G_s$ )، سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر ( $U_c$ ).

۵- عوامل مربوط به خواص سیال: جرم مخصوص سیال ( $\rho$ )، لزجت دینامیکی ( $\mu$ ).

با انتخاب  $h_s$  به عنوان متغیر وابسته، معادله ۱ به دست می آید.

$$h_s = f(\mu, \rho, \theta, G_s, B_1, B_2, h, U, U_c, d_{50}, g, L, L_t) \quad (1)$$

با انتخاب  $U$ ,  $h$ ,  $\rho$  به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش  $\pi$ -باکینگهام، پارامترهای بی بعد به صورت رابطه (۲) به دست می آید:

$$\frac{h_s}{h} = f_2\left(\theta, \frac{B_1}{h}, \frac{B_2}{h}, \frac{L}{h}, \frac{L_t}{h}, \frac{U}{U_c}, Re, Fr, F_0 = \frac{U}{\sqrt{g(G_s - 1)d_{50}}}\right) \quad (2)$$

با توجه به این که قطر متوسط مصالح بستر در تمام آزمایش ها یکسان بود و اثر پارامتر سرعت در فرود جریان لحاظ شده است، بنابراین  $F_0$  (فرود ذره) از متغیرهای بی بعد مؤثر کنار گذاشته شد. همچنین با فرض آشفته بودن جریان از پارامتر  $Re$  نیز صرف نظر گردید و معادله ۳ به دست آمد:

$$\frac{h_s}{h} = f_2\left(\theta, \frac{B_1}{h}, \frac{B_2}{h}, \frac{L}{h}, \frac{L_t}{h}, \frac{U}{U_c}, Fr\right) \quad (3)$$

با تقسیم  $\frac{B_1}{h}$  بر  $\frac{B_2}{h}$ ، همچنین  $\frac{L}{h}$  بر  $\frac{L_t}{h}$ ، همچنین  $\frac{L}{h}$  بر  $\frac{B_1}{h}$  و در نهایت  $\frac{L}{h}$  بر  $\frac{B_2}{h}$  پارامترهای بی بعد معادله ۴ به دست می آید:

$$\frac{h_s}{h} = f_2\left(\theta, \frac{B_1}{B_2}, \frac{L_t}{L}, \frac{L}{B_1}, \frac{L}{B_2}, \frac{U}{U_c}, Fr\right) \quad (4)$$

بر اساس یافته های این محقق عمق آبشستگی و گسترش ناحیه جدایی در مدل های با مقیاس کوچک شرایط واقعی را شبیه سازی نمی کنند. صانعی (۲۰۰۶) آزمایشاتی به منظور یافتن اثر درصد انسداد بر عمق آبشستگی ناشی از آبشکن تیغه ای انجام داده است. بر اساس مطالعات این محقق هرچه درصد انسداد بیشتر باشد عمق آبشستگی بیشتر می شود. مروری بر تحقیقات گذشته نشان می دهد که اکثر تحقیقات بر روی آبشکن های تیغه ای استوار بوده لذا ضروری است تا تحقیق بر روی آبشکن های  $L$ -شکل انجام شود.

در این تحقیق، با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی این گونه آبشکن ها در مسیر مستقیم، حداکثر عمق آبشستگی برای زاویه های مختلف زبانه آبشکن تعیین گردید و این عمق با عمق متناظر آن در آبشکن های تیغه ای مقایسه شد.

## مواد و روش ها

**آنالیز ابعادی:** پارامترهای متعددی در عملکرد آبشکن ها در حفاظت سواحل و آبشستگی اطراف دماغه آنها مؤثر می باشند. تعدادی از این عوامل تأثیر کمتری داشته و تعدادی نیز به اندازه کافی مورد مطالعه قرار گرفته اند. محققین عموماً از طریق آنالیز ابعادی به انتخاب پارامترهای مورد مطالعه پرداخته اند.

به منظور یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر آبشستگی در دماغه آبشکن های  $L$  - شکل، آنالیز ابعادی روی پارامترهای مؤثر انجام شده است. متغیرهای مستقل و مؤثر در این زمینه عبارت اند از:

۱- عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض کانال در مقطع قبل از آبشکن ( $B_1$ )، عرض کانال در مقطع تنگ شده ( $B_2$ ).

۲- عوامل مربوط به هندسه آبشکن: طول آبشکن ( $L$ )، طول زبانه آبشکن ( $L_t$ )، زاویه زبانه آبشکن با محور آبشکن ( $\theta$ ).

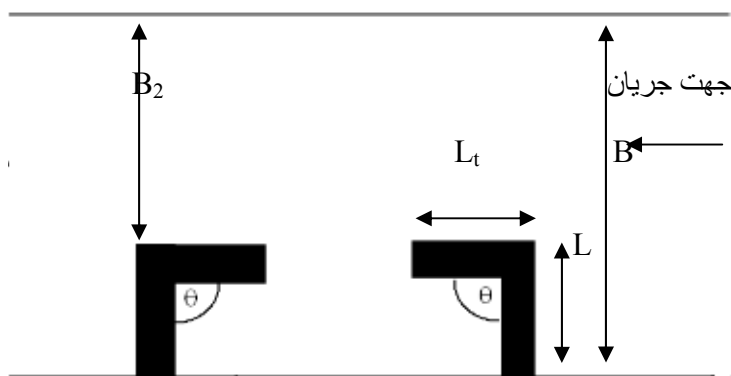
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با طول ۱۰/۸ متر، عرض و عمق ۰/۶ متر و شیب بستر ۰/۰۰۱ انجام شده است. مصالح بستر با دانه بندی یکنواخت با  $d_{50}=1/5 \text{ mm}$  و  $\sigma_g=1/2$  انتخاب و جهت اندازه گیری عمق از ترازسنج دیجیتال<sup>۱</sup> با دقت ۰/۰۱ میلی متر استفاده شد. آب شکن مورد استفاده در این تحقیق نفوذناپذیر، غیرمستغرق و متعامد می باشد. عمق جریان در پایین دست توسط دریچه ای در انتهای فلوم و یک سرریز لبه تیز استاندارد تنظیم گردید (شکل ۳).

با توجه به اینکه  $L=B_1-B_2$  می باشد، پارامترهای چهارم و پنجم نیز حذف شده و در نهایت معادله ۵ به دست می آید.

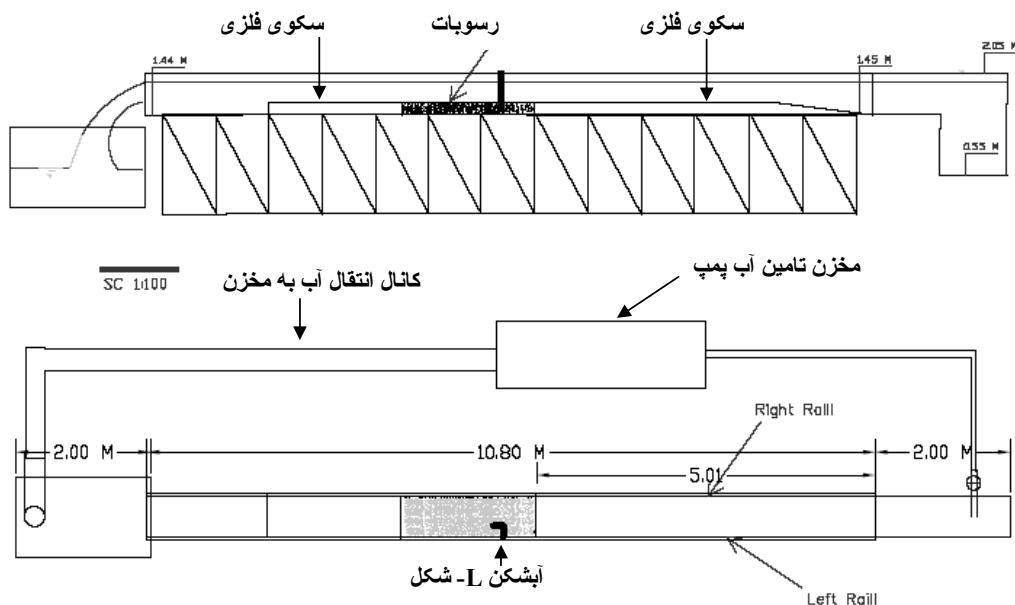
$$\frac{h_s}{h} = f_2\left(\theta, \frac{B_1}{B_2}, \frac{L_t}{L}, \frac{U}{U_c}, Fr\right) \quad (5)$$

شکل ۲ نشانگر پارامترهای هندسی مربوط به آب شکن L- شکل می باشد.

تجهیزات آزمایشگاهی و نحوه انجام آزمایش ها: آزمایش ها در فلوم آزمایشگاهی گروه مهندسی آب



شکل ۲- پارامترهای هندسی در آب شکن های L- شکل.



شکل ۳- پلان و مقطع طولی فلوم آزمایشگاهی.

آزمایش‌ها در یک بازه ۲ متری که بین دو سکوی فلزی که از رسوبات پوشیده شده بود، انجام گردید. فاصله محل موردنظر تا ابتدای کانال ۵/۵۰ متر در نظر گرفته شد تا اغتشاش محتمل در ورودی به محل آب‌شکن نرسد. سپس به ازای دبی‌های مختلف جریان و با تغییر ارتفاع آب درون کانال شرایط فرسایش در حالت آب زلال فراهم گردید و پس از شرایط تعادل نسبی، حداکثر عمق آب‌شستگی در دماغه آب‌شکن اندازه‌گیری شد.

به‌منظور فراهم آوردن شرایط آب زلال برای آزمایش‌ها، ابتدا آزمایش‌هایی برای تعیین سرعت بحرانی ( $U_c$ ) رسوبات بستر ترتیب داده شد، به این ترتیب که به ازای دبی‌های مختلف، عمق جریان با دریچه انتهایی را تغییر داده و عمقی که در آن لرزش و حرکت جزئی دانه‌های رسوب مشاهده گردید، برداشت و از روی آن سرعت بحرانی محاسبه شد (جدول ۱). در مجموع با مشاهده نتایج، مقدار ۰/۴ برای سرعت بحرانی در نظر گرفته شد. به‌منظور آزمون صحت مقدارهای به‌دست آمده از روش GKY که ترکیبی از روابط شیلدز، مانینگ و بلودگت می‌باشد، استفاده شد (کرنی و همکاران، ۲۰۰۳)، براساس این روش سرعت بحرانی برابر با ۰/۴ به‌دست می‌آید که منطبق بر مشاهدات آزمایشگاهی حاضر می‌باشد.

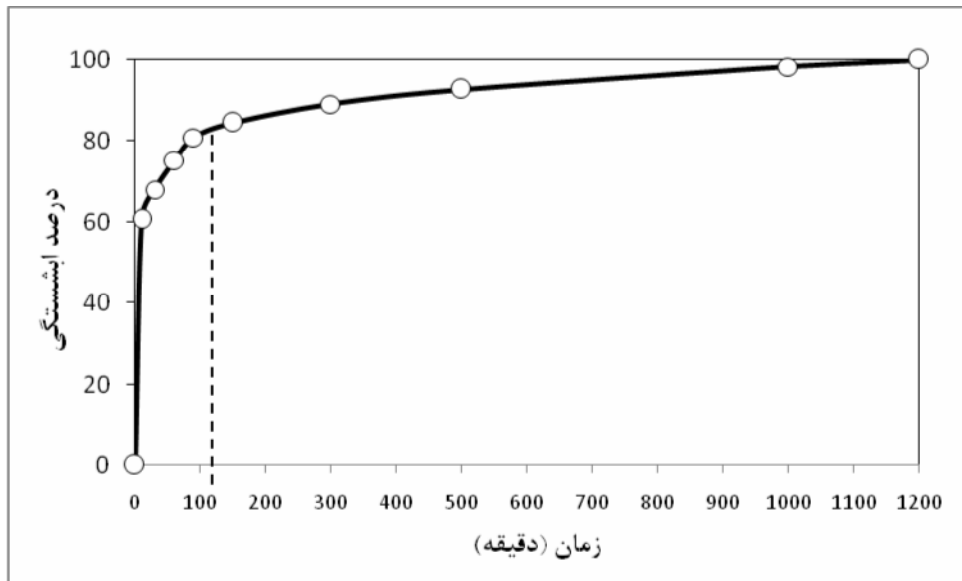
به‌منظور یافتن زمان تعادل نسبی نیز آزمایش‌های جداگانه‌ای انجام پذیرفت. نحوه انجام این آزمایش‌ها به این صورت بود که عمق آب‌شستگی در زمان‌های مختلف ثبت و سپس از روی منحنی رسم شده، زمان تعادل نسبی در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری عمق در این آزمایش‌ها از

طریق مدرج کردن آب‌شکن با دقت میلی‌متر انجام گرفت. گسترش عمق آب‌شستگی در آب‌شکن نشان می‌دهد که پس از مدت زمانی، گسترش آب‌شستگی کند شده و این زمانی است که به‌عنوان زمان تعادل نسبی برای تمام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. براساس آزمایش‌هایی که به‌منظور یافتن زمان رسیدن به تعادل مجموعه فرآیند به مدت ۲۰ ساعت صورت گرفت مشخص گردید که می‌توان مدت زمان ۹۰ دقیقه را به‌عنوان زمان تعادل نسبی در نظر گرفت به طوری که پس از گذشت این مدت ۸۰ درصد آب‌شستگی نهایی حاصل شده و از این زمان به بعد سرعت رشد حفره آب‌شستگی بسیار کم می‌باشد (شکل ۴).

روش انجام آزمایش‌ها نیز به نحوی بود که ابتدا سطح بستر صاف شده و آب با دبی کم از انتهای کانال وارد شده تا روی رسوبات به ارتفاع تقریبی ۱۰ سانتی‌متر پوشانده شود، سپس پمپ با دبی کم روشن و به تدریج به دبی مورد نظر رسانده شد. در این حالت دریچه انتهایی تا اندازه‌ای باز بود که رسوبات در کل منطقه مورد آزمایش در این دبی به حرکت در نیاید. سپس عمق متناظر با  $\frac{U}{U_c} = 0.95$  در مقطعی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر بالادست آب‌شکن تنظیم و آزمایش شروع می‌شد. در خلال آزمایش، مشاهدات ثبت و پس از ۹۰ دقیقه آزمایش متوقف و آب درون فلوم کم‌کم زهکشی شد، سپس عمق حداکثر آب‌شستگی و همچنین توپوگرافی بستر با استفاده از تراسنج دیجیتال برداشت گردید. در مجموع تعداد ۱۰۷ آزمایش با محدوده ذکر شده در جدول ۲ انجام شد.

جدول ۱- مشخصات آزمایش‌ها مربوط به سرعت بحرانی ( $U_c$ ).

$U_c$ (متر بر ثانیه)	H (سانتی‌متر)	Q (لیتر بر ثانیه)
۰/۴۰۳	۸/۷	۲۰
۰/۳۹۸	۱۱	۲۵



شکل ۴- گسترش آبشستگی با زمان در آزمایش‌های انجام شده.

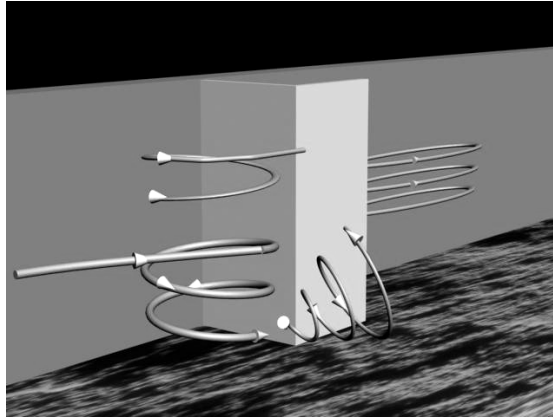
جدول ۲- محدوده تغییرات پارامترهای مؤثر در آزمایش‌ها.

محدوده تغییرات	پارامتر
۲۰- ۴۰ لیتر بر ثانیه	دبی جریان (Q)
۹,۷- ۱۳,۷ سانتی‌متر	عمق جریان در بالادست (h)
۰,۳۲- ۰,۳۸ متر بر ثانیه	سرعت جریان در بالادست (U)
۶- ۸ سانتی‌متر	طول آبشکن (L)
۶- ۸ سانتی‌متر	طول زیانه آبشکن (L <sub>h</sub> )
۰,۲۷- ۰,۳۹	عدد فرود (Fr)
۳۰۰۰۰- ۳۸۰۰۰	عدد رینولدز (Re)
۱,۵ میلی‌متر	اندازه ذرات رسوبی (d <sub>50</sub> )

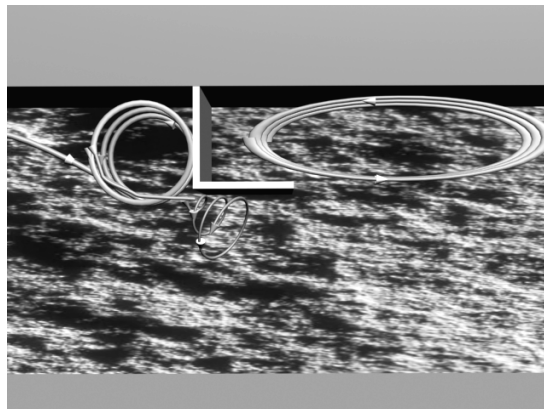
## نتایج و بحث

الگوی جریان اطراف آبشکن: آبشکن‌ها با کاهش مقطع رودخانه، الگوی جریان را به‌طور محسوسی تحت تاثیر قرار می‌دهند. خطوط جریان با نزدیک شدن به سازه آبشکن آرایش خود را تغییر داده و به تبعیت از ساختار هندسی، نوع سازه و سایر مشخصات فنی مربوط،

الگوهای متفاوتی از جریان در دماغه آبشکن پدیدار می‌گردد. ایجاد فرسایش در دماغه آبشکن و همچنین رسوب‌گذاری در پایین‌دست آبشکن از نوع و الگوی جریان پیروی می‌کند. در شکل‌های ۵ و ۶ مدل مفهومی الگوی جریان با استفاده از مشاهدات آزمایشگاهی ترسیم شده است.



شکل ۵- گردابه‌های اطراف آب‌شکن L- شکل.

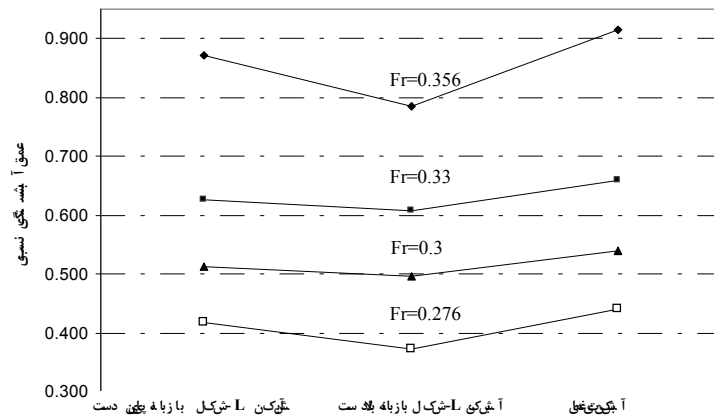


شکل ۶- نمایش منطقه گردابه‌ای چرخشی پایین دست آب‌شکن.

آب‌شکن به عرض فلوم بین  $\frac{1}{10}$  تا حداکثر  $\frac{1}{4}$  توصیه شده بود، لذا طول آب‌شکن و زبانه آن در این تحقیق ۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از اتمام آزمایش‌ها حداکثر عمق فرسایش در دماغه آب‌شکن اندازه‌گیری و برای دبی‌های حداکثر و حداقل پروفیل بستر نیز برداشت شد، شکل ۷ تغییرات  $\frac{h_s}{h}$  برحسب عدد فرود را نشان می‌دهد. مقدار کمی کاهش عمق نسبی آب‌شستگی در آب‌شکن L- شکل نسبت به آب‌شکن تیغه‌ای حداکثر ۱۵-۱۰ درصد می‌باشد و کمترین عمق نسبی آب‌شستگی در آب‌شکن L- شکل با زبانه بالادست مشاهده می‌شود که به نظر می‌رسد علت این پدیده کاهش قدرت جریان‌های گردابه‌ای ایجاد شده در دماغه این نوع آب‌شکن‌های L باشد و اختلاف مشخصی بین مقادیر حداکثر آب‌شستگی اطراف آب‌شکن L- شکل با زبانه پایین دست و آب‌شکن تیغه‌ای مشاهده نشد.

همان‌طور که در شکل‌های فوق مشاهده می‌شود، وجود آب‌شکن باعث ایجاد گردابه‌های نعل اسبی در بالادست آب‌شکن می‌گردد. همچنین جریان در بالادست آب‌شکن به دو دسته جریان تقسیم می‌شود، که یک دسته به سمت سطح آب و دسته دیگر به سمت کف در حرکت می‌باشند که این مشاهدات در تحقیق کوان (۱۹۸۴) نیز مشاهده می‌شود (کوتیاری و رانجا راجو، ۲۰۰۱). در پایین دست آب‌شکن نیز جریان گردابه‌ای ایجاد می‌شود که باعث به‌وجود آمدن ناحیه با جریان آرام می‌شود.

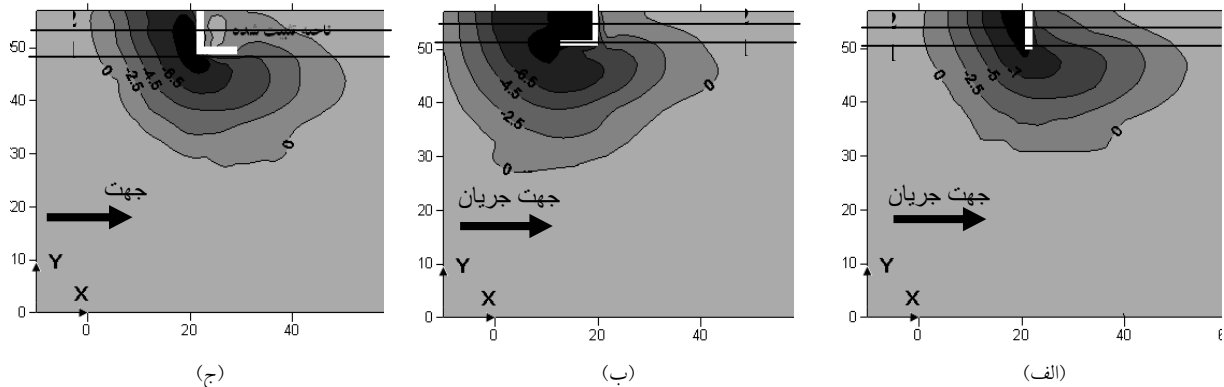
مقایسه آب‌شکن تیغه‌ای و L- شکل: به‌منظور مقایسه آب‌شکن تیغه‌ای و آب‌شکن L- شکل، آزمایش‌هایی با پنج مقدار دبی جریان شامل ۲۵، ۳۲، ۳۷، ۳۹ و ۴۲ لیتر در ثانیه و با  $U/U_c = 0.95$  بر روی سه نوع آب‌شکن تیغه‌ای، L- شکل با زبانه به سمت بالادست و L- شکل با زبانه به سمت پایین دست انجام شد، با توجه به این‌که در تحقیقات گذشته (گاردی و همکاران، ۱۹۶۱) نسبت طول



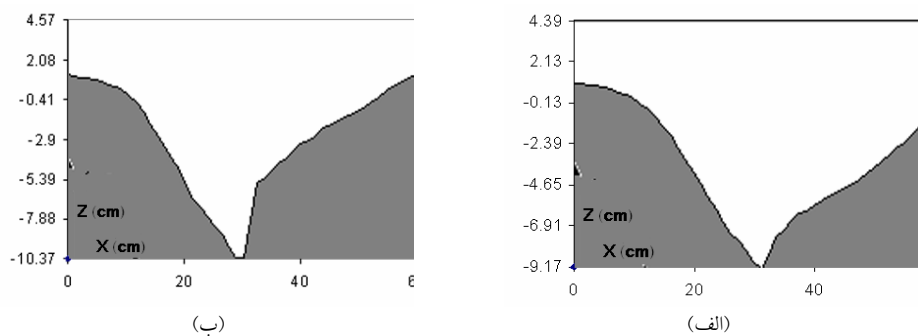
شکل ۷- تغییرات عمق نسبی آبشستگی ( $h_0/h$ ) با عدد فرود در آبشکن‌های تیغه‌ای و L-شکل.

آبشستگی به سمت بالادست کمتر بوده و پایین‌دست آبشکن نیز به علت وجود زبانه آبشکن تثبیت می‌شود، در این نوع از آبشکن حداکثر عمق آبشستگی در محل اتصال زبانه آبشکن با محور اتفاق می‌افتد. در آبشکن تیغه‌ای هم بالادست و هم پایین‌دست آبشکن تحت فرسایش قرار می‌گیرد و حداکثر عمق آبشستگی در دماغه آبشکن مشاهده شده است.

شکل‌های ۸ تا ۱۱ نشان می‌دهند که در آبشکن L-شکل با زبانه بالادست برخلاف آبشستگی کمتر، گسترش آبشستگی به علت گسترش ناحیه گردابه‌ای بالادست به سمت بالادست بیشتر می‌باشد و پایین‌دست آبشکن نیز به علت عدم حفاظت تحت فرسایش قرار می‌گیرد، حداکثر عمق فرسایش نیز در بالادست آبشکن، در محدوده بین زبانه آبشکن و جداره فلوم مشاهده شده است. در آبشکن L-شکل با زبانه پایین‌دست گسترش

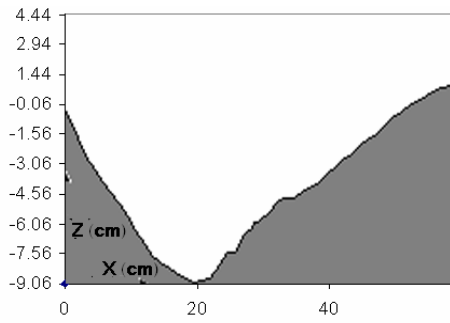


شکل ۸- پلان و خطوط تراز نهایی بستر پس از فرسایش برای آبشکن‌های (الف) تیغه‌ای، (ب) L-شکل با زبانه بالادست، (ج) L-شکل با زبانه پایین‌دست.

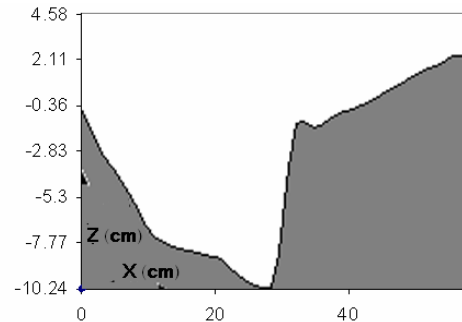


شکل ۹- پروفیل طولی بستر پس از فرسایش برای آبشکن تیغه‌ای، (الف) مقطع (۱)، (ب) مقطع (۲).



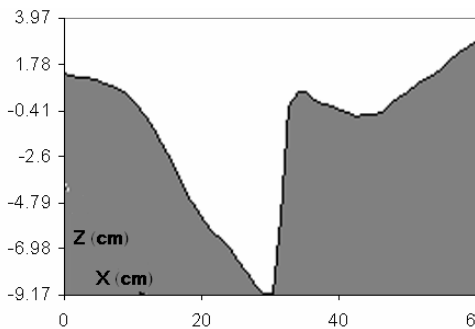


(ب)

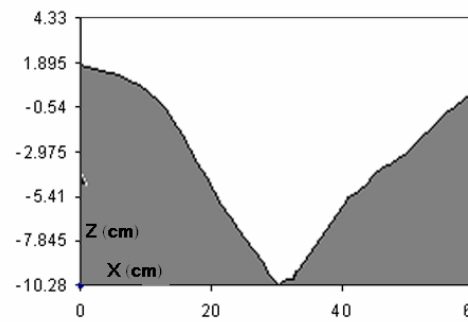


(الف)

شکل ۱۰- پروفیل طولی بستر پس از فرسایش برای آبشکن L- شکل با زبانه بالادست، (الف) مقطع (۱)، (ب) مقطع (۲).

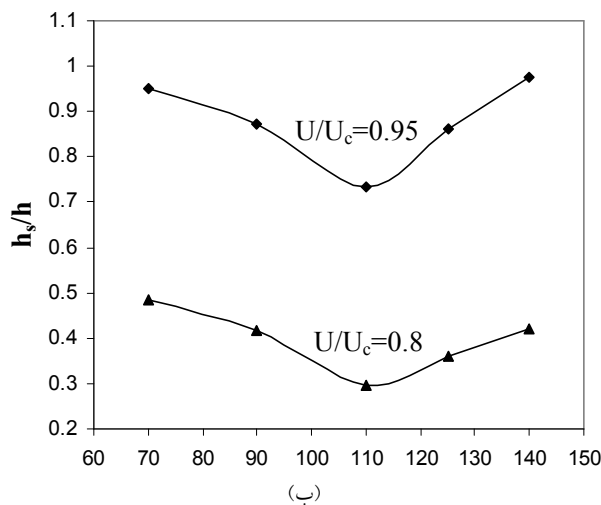


(ب)

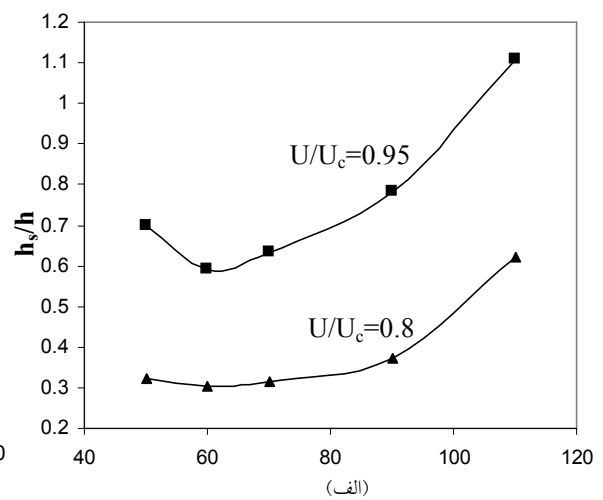


(الف)

شکل ۱۱- پروفیل طولی بستر پس از فرسایش برای آبشکن L- شکل با زبانه پایین دست، (الف) مقطع (۱)، (ب) مقطع (۲).



(ب)



(الف)

شکل ۱۲- تغییر عمق آبشستگی با زاویه زبانه آبشکن در (الف) آبشکن با زبانه بالادست، (ب) آبشکن با زبانه پایین دست.

آزمایش قرار گرفت. در شکل ۱۲ نتایج این آزمایش‌ها ارائه شده است. نتایج آزمایش‌های نشان می‌دهد برای آبشکن L- شکل با زبانه بالادست زاویه ۶۰ درجه منجر با آبشستگی کمتر گردیده و زاویه مناسب برای آبشکن L- شکل با زبانه پایین دست ۱۱۰ درجه می‌باشد.

انتخاب زاویه مناسب زبانه آبشکن: به منظور انتخاب بهترین زاویه زبانه آبشکن آزمایش‌هایی بر روی آبشکن‌های L- شکل با زبانه به سمت بالادست و پایین دست انجام شد. در آبشکن با زبانه بالادست زوایای ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ درجه و در آبشکن با زبانه پایین دست زوایای ۷۰، ۹۰، ۱۱۰، ۱۲۵ و ۱۴۰ درجه مورد

به منظور ارائه فرم صریح ریاضی معادله ۵ در تخمین عمق آب شستگی از برازش مدل توانی بر داده‌های حاصل از آزمایش‌ها استفاده گردید. در این رابطه داده‌های حاصل از آزمایش‌ها مربوط به آب‌شکن L- شکل با زبانه پایین‌دست که مناسب‌ترین وضعیت را در رابطه با حفاظت بستر در پایین‌دست سازه ایجاد نموده، مورد استفاده قرار گرفت. معادله ۶ با ضریب همبستگی ( $R^2 = 0.93$ ) حاصل این آنالیز بوده است:

$$\frac{h_s}{h} = \frac{5.14(Fr)^{1.39} \left(\frac{U}{U_c}\right)^{2.58}}{\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)^{0.54} \left(\frac{L_t}{L}\right)^{0.43} \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{0.78}} \quad (6)$$

جدول ۳- محدوده تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها.

محدوده تغییرات	پارامتر
۰/۳۹-۰/۲۱۵	عدد فرود (Fr)
۰/۹-۰/۸	نسبت سرعت متوسط جریان به سرعت آستانه حرکت ذرات ( $\frac{U}{U_c}$ )
۷۰-۱۱۰ درجه	زاویه زبانه آب‌شکن با آب‌شکن ( $\theta$ )
۱/۱۳-۰/۷۵	نسبت طول زبانه آب‌شکن به طول آب‌شکن ( $\frac{L_t}{L}$ )
۱/۱۵-۱/۱۱	نسبت عرض فلوم قبل از آب‌شکن به عرض فلوم در مقطع آب‌شکن ( $\frac{B_1}{B_2}$ )

در روابط بالا،  $X_i$  مقدار محاسبه شده توسط رابطه توانی،  $X_m$  مقدار اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و  $n$  تعداد آزمایش‌ها می‌باشد. مقادیر پارامترهای فوق بترتیب برابر با  $RMSE = 0.046$ ،  $Err = 0.072$  به دست آمد. شکل ۱۳ نیز تغییرات عمق آب‌شستگی محاسبه شده توسط معادله ۶ را برحسب مقدارهای مشاهده شده آزمایشگاهی نشان می‌دهد که توزیع مناسب داده‌ها اطراف خطی با زاویه ۴۵ درجه را نشان می‌دهد.

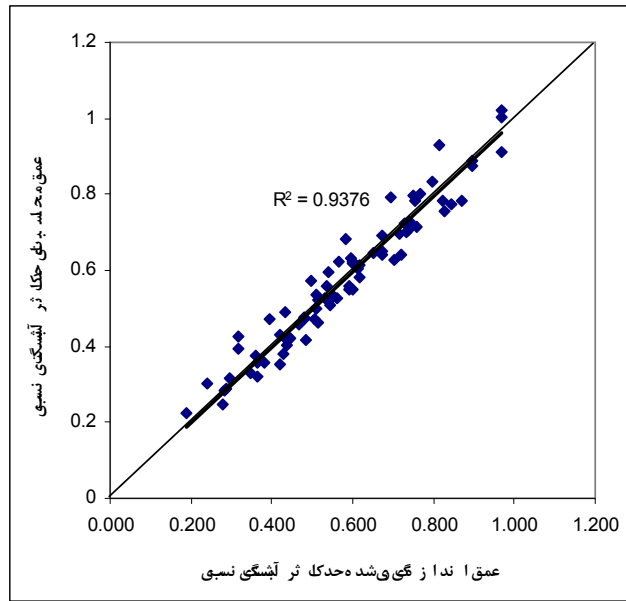
محدوده تغییرات پارامترها در معادله ۶ در جدول ۳ آمده است.

برای ارزیابی کارایی معادله ۶ از میانگین مربعات خطا (RMSE) و پارامتر خطا (Err) به صورت معادله‌های ۷ و ۸ استفاده گردید.

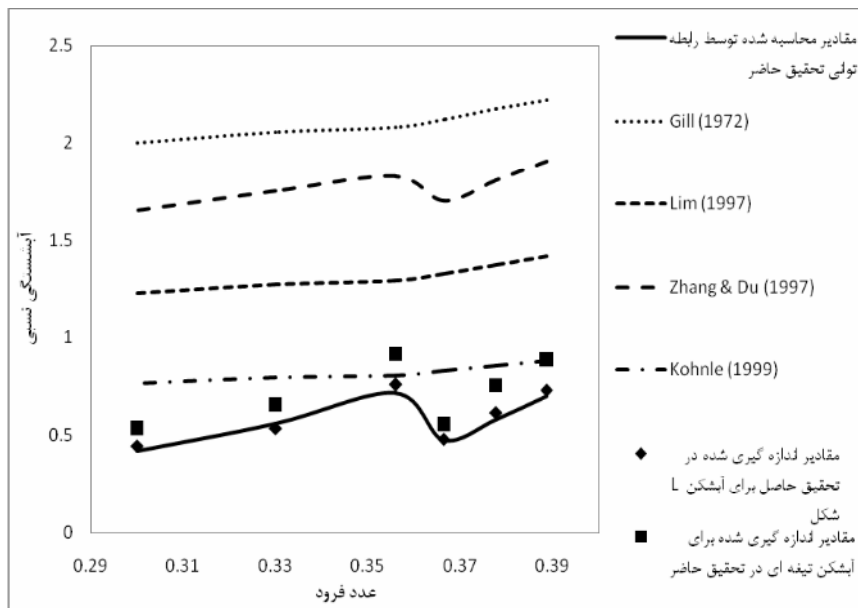
$$RMSE = \left[ \frac{\sum (X_i - X_m)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$Err = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{X_i - X_m}{X_m} \right| \quad (8)$$

با توجه به عدم وجود رابطه‌ای برای تخمین حداکثر عمق آب‌شستگی ناشی از آب‌شکن L- شکل به مقایسه نتایج حاصل از تحقیقات گذشته بر روی آب‌شکن تیغه‌ای و نتایج حاصل از رابطه توانی تحقیق حاضر پرداخته شد (شکل ۱۴). با توجه به شکل، مقدار آب‌شستگی در آب‌شکن تیغه‌ای بیشتر از آب‌شکن L- شکل می‌باشد.



شکل ۱۳- مقایسه نتایج حاصل از رابطه (۵) و مقادیر اندازه گیری شده حداکثر عمق آبشستگی ناشی از آبشکن L- شکل پایین دست.



شکل ۱۴- مقایسه نتایج تحقیقات گذشته بر روی آبشکن تیغه ای و تحقیق حاضر.

## نتیجه گیری

براساس آزمایش های انجام شده، نتایج زیر از این

تحقیق حاصل می شوند:

۱- آبشکن های مورد مطالعه از لحاظ عمق آبشستگی

به ترتیب صعودی عبارتند از: آبشکن تیغه ای و آبشکن

L- شکل با زبانه به سمت پایین دست و پس از آنها

آبشکن L- شکل با زبانه به سمت بالادست.

۲- آبشکن L- شکل با زبانه به سمت بالادست بیشترین

گسترش آبشستگی و آبشکن L- شکل با زبانه به

سمت پایین دست کمترین گسترش آبشستگی را دارد.

۳- محل حداکثر آبشستگی ایجاد شده در آبشکن L-

شکل با زبانه به سمت بالادست، بالادست آبشکن در

ناحیه چرخشی می باشد.

$B_2$  عرض فلوم در منطقه تنگ‌شدگی (آب‌شکن)  
 $d_{50}$  اندازه قطر متوسط ذرات بستر  
 $Fr$  عدد فرود  
 $F_0$  عدد فرود ذرات بستر  
 $g$  شتاب ثقل جاذبه زمین  
 $G_s$  چگالی مصالح بستر  
 $h$  عمق جریان در محل قبل از آب‌شکن  
 $h_s$  حداکثر عمق آب‌شستگی  
 $L$  طول آب‌شکن  
 $L_t$  طول زبانه آب‌شکن  
 $Re$  عدد رینولدز  
 $U$  سرعت متوسط جریان  
 $U_c$  سرعت بحرانی آستانه حرکت ذرات  
 $\theta$  زاویه زبانه آب‌شکن با محور آب‌شکن

۴- حداکثر عمق آب‌شستگی ایجاد شده در آب‌شکن  $L$ -  
 شکل با زبانه به سمت پایین‌دست، در محل تلاقی زبانه با  
 محور آب‌شکن مشاهده شده است.

۵- زاویه‌ای که منجر به آب‌شستگی کمتر در آب‌شکن  $L$ -  
 شکل با زبانه به سمت بالادست می‌شود زاویه  $60^\circ$  درجه  
 می‌باشد.

۶- زاویه‌ای که منجر به آب‌شستگی کمتر در آب‌شکن  $L$ -  
 شکل با زبانه به سمت پایین‌دست می‌شود زاویه  $110^\circ$   
 درجه می‌باشد.

۷- رابطه‌ی توانی به‌صورت رابطه (۶) با ضریب همبستگی  
 بالا می‌تواند برای تخمین حداکثر عمق آب‌شستگی برای  
 آب‌شکن  $L$ - شکل با زبانه به سمت پایین‌دست مورد استفاده  
 قرار گیرد.

#### علائم و نشانه‌ها

$B_1$  عرض فلوم قبل از محل آب‌شکن

#### منابع

- Ahmad, M. 1951. Spacing and projection of spurs for bank protection. Civil Engineering and Public Work Review, London, U. K. March, pp.172-174.
- Ettema, R., and Muste, M. 2004. Scale Effects in Flume Experiments on Flow around a Spur Dike in Flatbed Channel. Journal of Hydraulics Engineering Vol. 130, No. 7, July, 2004, ASCE, pp.635-646.
- Garde, R.J., Subramanya, K., and Nambudripad, K.D. 1961. Study of scour around spur dikes. ASCE Journal of the Hydraulics Division, 87(HY6), pp.23-37.
- Gill, M.A. 1972. Erosion of sand beds around spur dikes. Journal of the Hydraulics Division, 98(HY9), pp.1587-1602.
- Izzard and Bradley. 1957. Field verification of model tests on flow through highway bridges and culverts. Proceedings, 7th Hydraulic Conference, Iowa.
- Kerenyi, K. Jones, S., and Stein, S. 2003. Bottomless Culvert Scour Study. U.S. Department of Transportation, Publication No. FHWA-RA-02-078.
- Kothyari, U.C., Ranga Raju, K.G. 2001. Scour around spur dikes and bridge abutments. Journal of Hydraulic Research, v.39, n. 4, pp. 367-374.
- Kuhnle, R.A., Alonso, C.V., and Shields, F.D. 1999. Geometry of scour holes associated with 90-degree spur dikes. Journal of Hydraulics Engineering v 125 n 9 Sep, 1999, ASCE, pp.972-978.
- Kwan, F. 1984. Study of Abutment Scour., Report No. 328, University of Auckland, School of T. Engineering, Department of Civil Engineering Private Bag, Auckland, New Zealand.
- Liu, M.K., Chang, F.M., and Skinner, M.M. 1961. Effect of bridge construction on scour and backwater. Report No. CER60-HKL22, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Melville, B.W. 1992. Local Scour at Bridge Abutments. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 118, No. 4, April, 1992, ASCE, p.615-631.
- Saneie, M. 2006. Experimental Study on River Closure Effect on Spur dike Scouring. 7th International River Engineering Conference, Ahwaz. In Persian, pp. 354-363.
- Zaghloul N.A. 1983. Local scour around spur-dikes. Journal of Hydrology, 60 (1983) pp.123-140.

## **Experimental investigation of scour depth around L-head Groynes under clear water condition**

**S.F. Hashemi<sup>1</sup>, S.A. Ayyoubzadeh<sup>2</sup>, \* A.A. Dehghani<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student Dept. of Water Structures, Tarbiat Modares University, Iran, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Structures, Tarbiat Modares University, Iran. <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

---

---

### **Abstract**

The groynes are structures which used for protecting the outer part of the bend and river plan stabilization projects. One of the most important problems for designers is the estimation of the maximum local scour depth in the vicinity of groynes. Due to contraction of the flow area, the local velocity increased and the scouring around groynes will be developed. The literature review reveals that most of studies have been conducted on the past are on the straight groynes and a little information exist on local scouring around L-head groynes. In this study, the maximum depth of scour around straight and L-head groynes was compared. Also the effect of angle of parallel wall on scouring was investigated and the optimal angle of parallel wall was determined. By using dimension analysis, the dimensionless parameters were obtained and a general relation was developed by applying regression analysis. The results show that the maximum depth of scour around L-head groynes with upstream parallel wall is less than straight groynes and the optimal angle (minimum scour depth) of parallel wall respect to perpendicular wall in L-head groynes is  $\alpha=110^\circ$  (in the downstream direction) and  $\alpha=60^\circ$  (in the upstream direction).

**Keywords:** L-head groyne; Local scouring; Clear-Water; Angle

---

\*-Corresponding Author; Email: a.dehghani@gau.ac.ir