

تأثیر طول و فاصله آب‌شکن بر الگوی آب‌شستگی

امیر محمودی زنگنه

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده عمران و محیط زیست amirmhmdy@yahoo.com

مجتبی صانعی

استادیار مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ص.پ. ۱۱۳۶-۱۳۴۴۵ mojtabasaneie@yahoo.com

چکیده

از جمله مسائل مهم در طراحی آب‌شکن‌ها، پدیده آب‌شستگی موضعی دماغه‌ی آن‌ها می‌باشد که به‌علت تنگ‌شدگی مقطع جریان و وجود گردابه‌های قوی بوجود می‌آید، تحقیق حاضر حاصل یک سری آزمایش‌های انجام شده در فلوم آزمایشگاهی می‌باشد. در این آزمایش‌ها، الگوی آب‌شستگی ایجاد شده در اطراف یک دسته آب‌شکن (۵ عدد) به ازای دبی و درصد تنگ‌شدگی‌های مختلف عرض جریان در مصالح بستر ($d_{50} = 0/19$) میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت و با یکدیگر مقایسه شده‌اند که می‌تواند در طراحی مورد استفاده قرار گیرد. **کلید واژه:** آب‌شکن، آب‌شستگی، الگوی آب‌شستگی، مدل آزمایشگاهی

مقدمه

آب‌شکن‌ها سازه‌هایی هستند که به صورت عرضی از ساحل رودخانه به طرف محور آن و با زوایای مختلف نسبت به کناره رودخانه تا فاصله‌ای به سمت درون بستر جریان امتداد می‌یابند [۱]. این سازه‌ها از مصالح سنگی، پاره‌سنگی، شن و ماسه، خاکریزی، گابیونی، شمع کوبی و... ساخته می‌شوند [۲]. طراحی و اجرای آب‌شکن‌ها با هدف‌های مختلفی صورت می‌پذیرد که برخی از آنها عبارتند از: هدایت جریان در جهت مطلوب؛ افزایش عمق جریان برای کشتیرانی؛ جلوگیری از فرسایش کناره رودخانه و حفاظت از آن؛ هدایت جریان از قسمت بیرونی قوس به سمت داخل و در نتیجه جلوگیری از تخریب رودخانه؛ تله‌اندازی (گرفتن رسوبات جریان) به منظور ایجاد ساحل جدید [۳]، [۱].

آب‌شکن به صورت مانعی در مقابل جریان عمل می‌کند و این امر باعث آب‌شستگی در دماغه‌ی آب‌شکن می‌گردد [۴]. یکی از شاخص‌های مهم در تعیین مشخصات حفره‌ی آب‌شستگی، حداکثر عمق آب‌شستگی می‌باشد. از اوایل سال ۱۹۳۰ تاکنون محققین و متخصصین مختلف بررسی‌های آزمایشگاهی و مشاهدات تجربی گوناگونی را برای تعیین حداکثر عمق آب‌شستگی و امکان پیش‌بینی آن با استفاده از معادلات حاصل از بررسی‌های تحقیقاتی انجام داده‌اند. از جمله این محققین می‌توان به لیسلی (Lacy, ۱۹۳۰)؛ خوسلا (Khosla, ۱۹۳۶)؛ احمد (Ahmad, ۱۹۵۳)؛ لیو و همکاران (Liu et al., ۱۹۶۱)؛ گارده و همکاران (Garde et al., ۱۹۶۱)؛ گیل (Gill, ۱۹۷۲)؛ مزالوارز (Meza Alvarez, ۱۹۸۹)؛ پترسون (Peterson, ۱۹۸۶)؛ ملویل (Melville, ۱۹۹۲)؛ کوهنل و همکاران (kuhnle et al., ۲۰۰۲) و رحمان (Rahman, ۲۰۰۳) اشاره کرد [۵] الی [۱۲]. همچنین، اندرواژ و همکاران در سال ۱۹۹۷ آزمایش‌هایی در فلوم آزمایشگاهی برای یک آب‌شکن منفرد با تعبیه آب‌شکن محافظ (فرعی) در بالای دست آن اجرا کردند [۱۱]. از ایجاد آب‌شکن‌ها معمولاً به صورت سری ساخته می‌شوند اولین آب‌شکن از

طرف بالادست باید با دقت اجرایی بالا ساخته شود زیرا نیروی بیشتری بر آن وارد می‌شود. روابط مختلفی برای پیش‌بینی مقدار عمق آب‌شستگی تکیه‌گاه‌ها، ارائه و توصیه شده است. آب‌شستگی در آب‌شکن‌ها یا اپی‌ها، مشابه با آب‌شستگی در تکیه‌گاه‌های بلند و باریک می‌باشند و مطالعات آب‌شستگی آنها را نیز شامل می‌شوند [۴]. عوامل موثر بر پدیده آب‌شستگی در آب‌شکن‌ها به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند [۴]: عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض، شکل سطح مقطع و شیب. عوامل مربوط به هندسه آب‌شکن: اندازه، شکل، زاویه فرارگیری با جهت جریان و ارتفاع آن نسبت به رقوم سطح آب. عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر: قطر متوسط، توزیع اندازه دانه‌بندی، چگالی، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی. عوامل مربوط به خواص سیال: دانسیته، ویسکوزیته، شتاب ثقل و درجه حرارت. عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: سرعت متوسط جریان، عمق جریان، سرعت برشی و زبری. اطلاع از شکل و حجم حفره آب‌شستگی اطراف آب‌شکن‌ها در طراحی بسیار مهم است. تحقیق حاضر حاصل یک سری آزمایش‌های انجام شده در فلوم آزمایشگاهی می‌باشد. در این آزمایش‌ها، الگوی آب‌شستگی ایجاد شده در اطراف یک دسته آب‌شکن (۵ عدد) به ازای دبی و درصد تنگ‌شدگی‌های مختلف عرض جریان مورد بررسی قرار گرفت و در پایان الگوهای آب‌شستگی با هم مقایسه شدند، که می‌تواند در طراحی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایشات از فلومی به طول ۲۵ متر، عرض ۶۰ سانتی‌متر و عمق ۵۰ سانتی‌متر با شیب طولی ۰/۰۰۱ ثابت استفاده شد. جنس فلوم از نوع سیمانی بوده که یک طرف آن برای مشاهده الگوی جریان و نحوه آب‌شستگی بستر از مصالح شفاف (پلاکسی گلاس) ساخته شده و در طولی معادل ۴ متر از این فلوم و به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر مصالحی با قطر متوسط ۰/۱۹ میلی‌متر و با انحراف معیار ۱/۲۸ ریخته شد و سطح آن هم‌تراز با کف فلوم به وسیله ابزاری همچون شمشه ماله تسطیح می‌شد. با توجه به نتایج تحقیقات اندرواژ و همکاران (۱۹۹۷)، قربان‌خانی و همکاران (۱۹۹۸) در مورد طول و فاصله آب‌شکن محافظ، طول آب‌شکن محافظ (L') برای اندازه‌های ۶، ۹ و ۱۲ سانتی‌متر با انتخاب فاصله‌ی آب‌شکن محافظ تا آب‌شکن اول (X) با مقادیر ۲۷، ۳۶ و ۴۵ سانتی‌متر مورد آزمایش قرار گرفتند [۱۳ و ۱۴]. آزمایش‌های فوق برای ۳ عمق مختلف (۸، ۱۰ و ۱۲) سانتی‌متر با دبی ثابت (۱۰ لیتر بر ثانیه) در فلوم مورد نظر انجام پذیرفت. آزمایش‌های اولیه با قرار دادن ۴ آب‌شکن اصلی (بدون آب‌شکن محافظ) در فلوم صورت گرفت و از این آزمایش‌ها داده‌های شاهد بدون آب‌شکن محافظ بدست آمد. سپس با قرار دادن آب‌شکن محافظ در بالادست اولین آب‌شکن اصلی آزمایش‌های مورد نظر انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که در ابتدای هر آزمایش با شیب ثابت ۰/۰۰۱ کف فلوم که این شیب یک شیب ملایم برای بستر بود، آزمایش‌ها در حالت جریان زیربحرانی انجام می‌شدند ($Fr < 1$). بعد از اجرای هر آزمایش آب درون گودال‌ها به آرامی زه‌کشی و تخلیه شده، عمق مربوط به حداکثر آب‌شستگی و همچنین پروفیل بستر برداشت می‌شد.

برای ساخت آب‌شکن‌های بسته از جنس مصالح شفاف (پلاکسی گلاس)، به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و طول ۱۸ سانتی‌متر استفاده شده بود. ضخامت این آب‌شکن‌ها به گونه‌ای است که می‌توان از تأثیر آن بر روی آب‌شستگی صرف‌نظر نمود (شکل ۱).

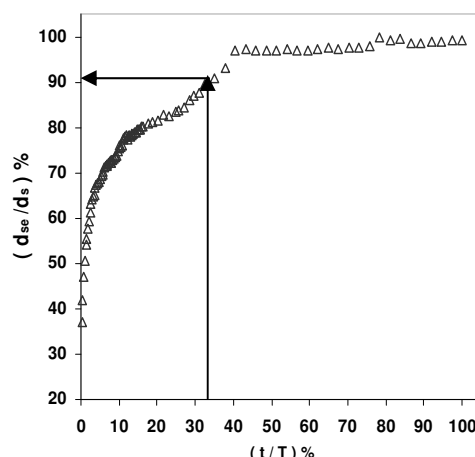
مخزن جریان (یک پمپ با حداکثر دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه) در بالا دست فلوم قرار داشت و کنترل دبی از طریق شیر کنار گذر (by pass) و یک سرزیر مثلثی با زاویه دهانه ۹۰ درجه‌ای انجام می‌گرفت. یک صفحه قابل تنظیم در پائین دست، عمق جریان در فلوم را کنترل می‌کرد. اندازه‌گیری عمق جریان و عمق آب‌شستگی توسط یک لیمینومتر که در جهات طولی و عرضی قابلیت حرکت داشت انجام می‌شد (شکل ۲).
برای تعیین زمان آزمایش در ابتدا آزمایش‌هایی جهت رسیدن به عمق ثابت (تعادل) آب‌شستگی اجرا گردید. حداکثر عمق آب‌شستگی در دماغه آب‌شکن‌ها بوسیله دستگاه پروفایلر در زمان‌های گوناگون برداشت شد و همانطور که از شکل (۳) پیدا است این کار ۶ ساعت (T) ادامه یافت تا حداکثر عمق آب‌شستگی (d_{se}) به یک حد تقریباً ثابت رسید و مشخص شد اگر آزمایش مربوط به سری آب‌شکن‌ها ۲ ساعت (t) بطول انجامد بیش از ۹۰ درصد حداکثر عمق آب‌شستگی حاصل می‌شود. (d_s عمق آب‌شستگی در زمان ۲ ساعت است.)



شکل ۲: نمایی از سیستم کنترل و اندازه‌گیری دبی

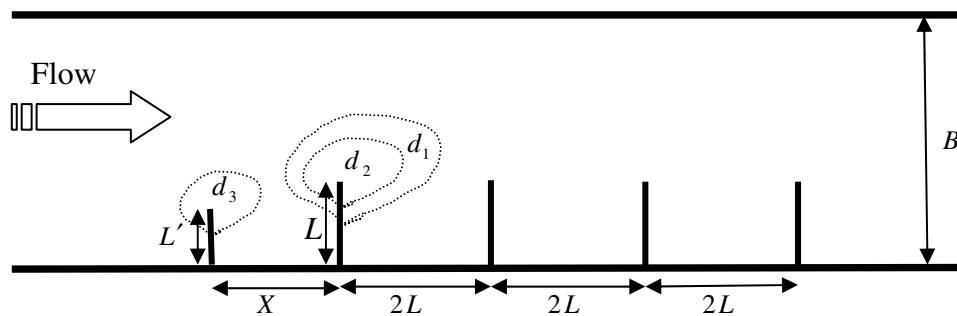


شکل ۱: فلوم آزمایشگاهی و سری آب‌شکن‌ها



شکل ۳: نمودار بی بعد شده عمق آب‌شستگی بر حسب زمان

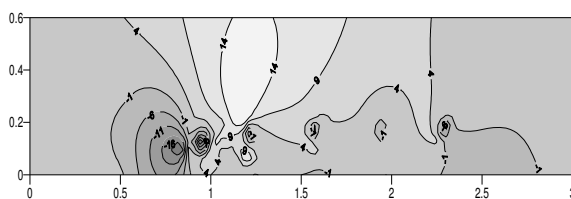
در آزمایش‌های انجام شده از پارامترهای هندسی زیر با توجه به شکل (۴) استفاده شد: B عرض کل فلوم، L طول اولین آبشکن، L' طول آبشکن محافظ، d_1 عمق آبشستگی در دماغه‌ی اولین آبشکن بدون استفاده از آبشکن محافظ، d_2 عمق آبشستگی در دماغه‌ی اولین آبشکن با استفاده از آبشکن محافظ، d_3 عمق آبشستگی در دماغه‌ی آبشکن محافظ، X فاصله آبشکن محافظ تا اولین آبشکن، h عمق جریان در بالادست آبشکن‌ها.



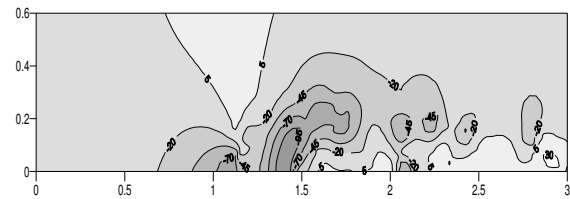
شکل ۴: نمایش پارامترهای هندسی آزمایش‌های اصلی

نتایج

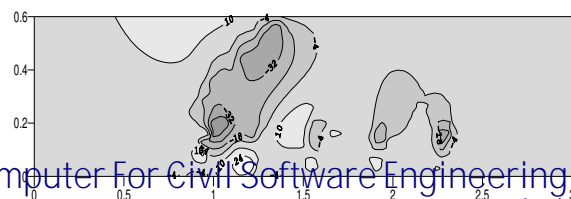
هدف از اجرای آزمایش‌ها بررسی الگوی آبشستگی ایجاد شده پیرامون آبشکن‌ها بود. در این آزمایش‌ها از ۵ عدد آبشکن به صورت قائم بر جریان استفاده شد. الگوی آبشستگی موضعی پیرامون آبشکن‌ها در آزمایش‌های مختلف برداشت شد. برای تحلیل و بررسی الگوهای ایجاد شده، داده‌های آزمایشگاهی وارد نرم‌افزار Surfer شدند، شکل‌های (۵) الی (۳۱) نمونه‌ای از پروفیل حاصل را نشان می‌دهند. برای بررسی الگو و پروفیل آبشستگی در دماغه و محدوده آبشکن‌ها با برداشت‌های توپوگرافی بستر بعد از آبشستگی، از نرم‌افزار Surfer استفاده شد. اشکال بدست آمده ذیل در فاصله $2/5$ و 2 و $1/5$ آورده شده است. در این شکل‌ها محور X طول کانال، محور Y عرض کانال و محور Z ارتفاع بستر را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که واحد محورهای X و Y بر اساس متر می‌باشد و واحد محور Z بر اساس میلی‌متر است. توضیحات لازم زیر شکل‌ها نوشته شده است.



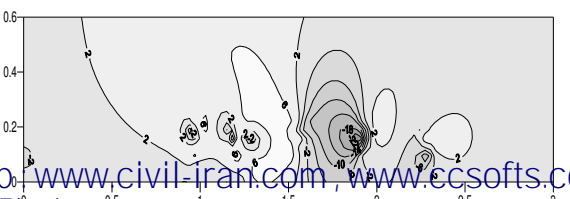
شکل ۵: $X/L=1.5, L'/L=0.67, Fr=0.13$



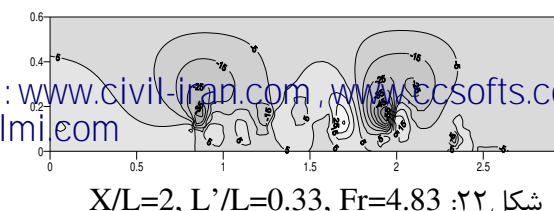
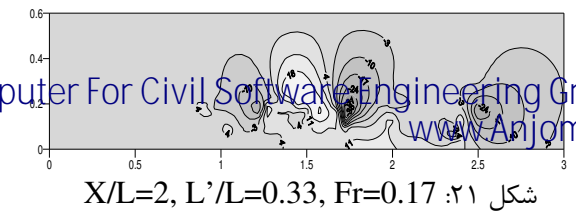
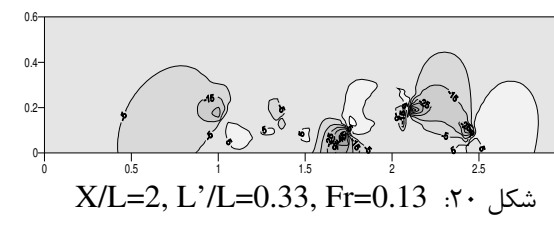
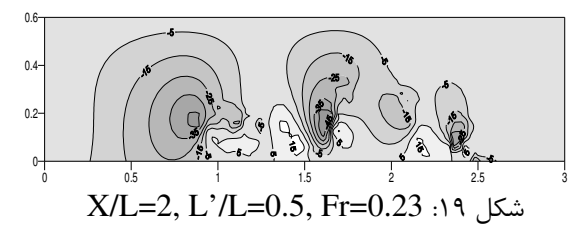
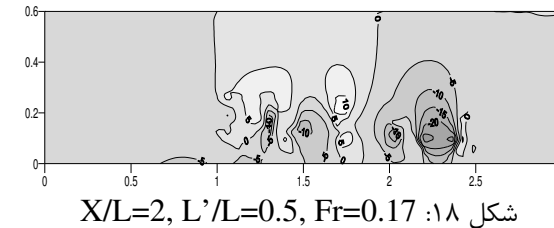
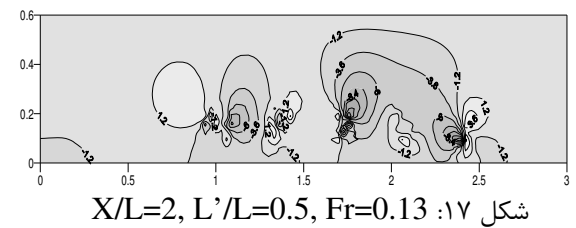
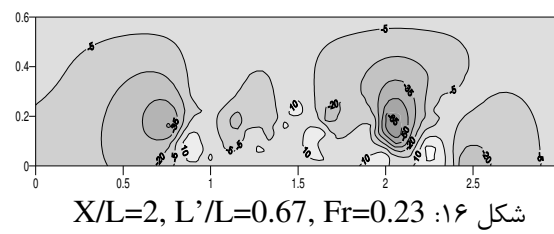
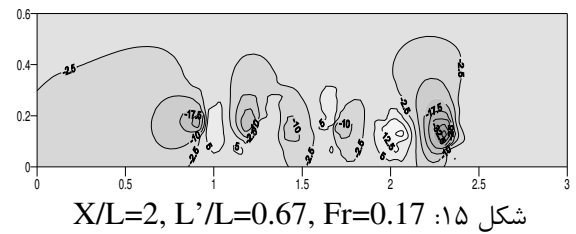
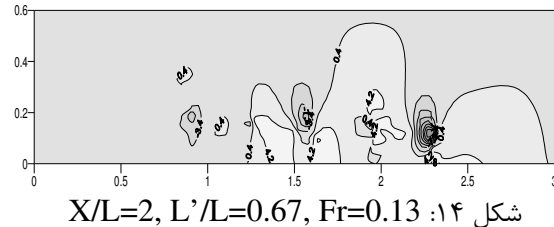
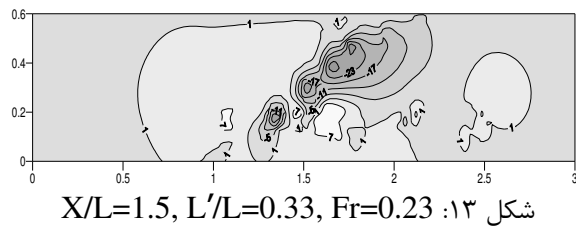
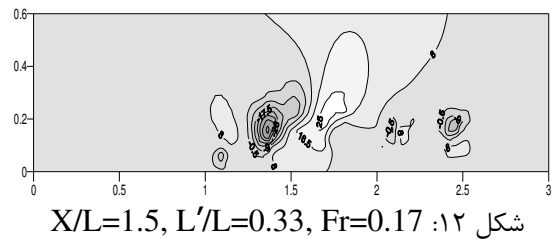
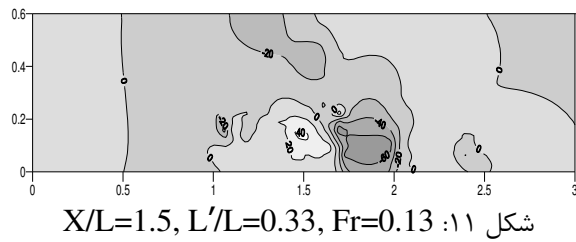
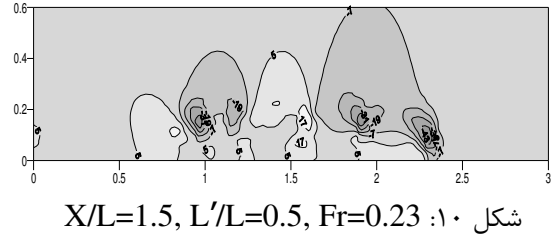
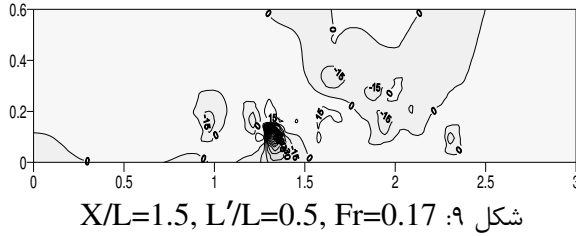
شکل ۶: $X/L=1.5, L'/L=0.67, Fr=0.17$

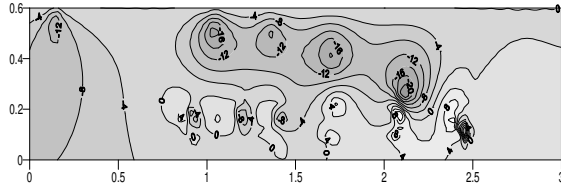


شکل ۷: $X/L=1.5, L'/L=0.67, Fr=0.23$

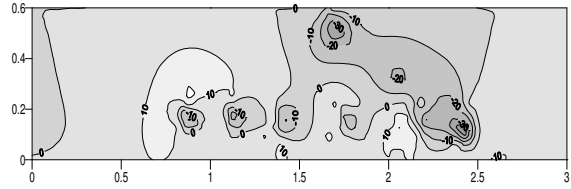


شکل ۸: $X/L=1.5, L'/L=0.5, Fr=0.13$

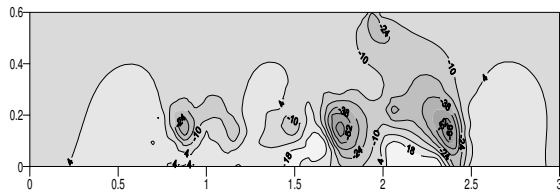




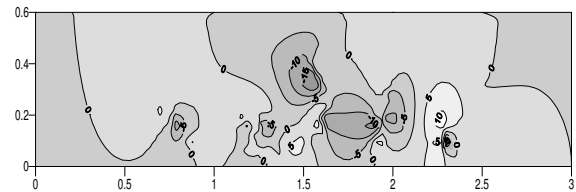
شکل ۲۳: $X/L=2.5, L'/L=0.67, Fr=0.13$



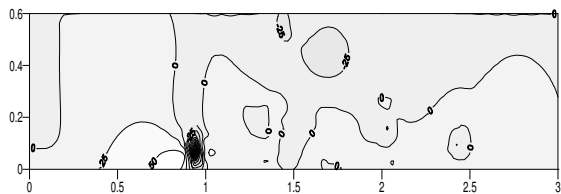
شکل ۲۴: $X/L=2.5, L'/L=0.67, Fr=0.17$



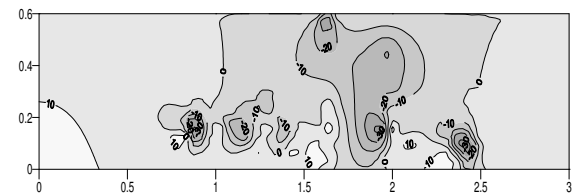
شکل ۲۵: $X/L=2.5, L'/L=0.67, Fr=0.23$



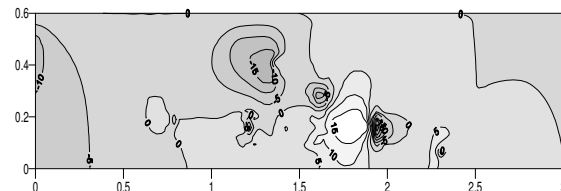
شکل ۲۶: $X/L=2.5, L'/L=0.5, Fr=0.13$



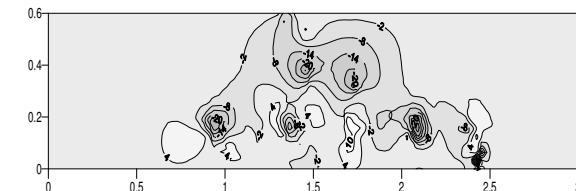
شکل ۲۷: $X/L=2.5, L'/L=0.5, Fr=0.17$



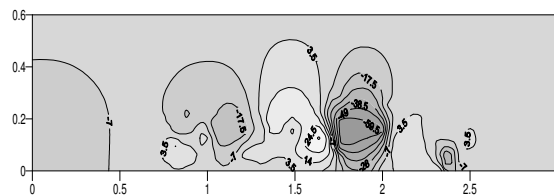
شکل ۲۸: $X/L=2.5, L'/L=0.5, Fr=0.23$



شکل ۲۹: $X/L=2.5, L'/L=0.33, Fr=0.13$



شکل ۳۰: $X/L=2.5, L'/L=0.33, Fr=0.17$



شکل ۳۱: $X/L=2.5, L'/L=0.33, Fr=0.23$

در فلوم مذکور، محدوده اندازه‌گیری شده به شرح زیر است:

$$d_1 F_r = 0.13, 0.17, 0.23 \quad \text{و} \quad \frac{y}{l} = 0.44, 0.55, 0.67, \quad \frac{x}{l} = 1/5, 2, 2/5, \quad \frac{l'}{l} = 0, 0.33, 0.5, 0.66$$

در دماغه‌ی اولین آبشکن همراه با آبشکن محافظ و حداکثر عمق فرسایش در دماغه‌ی آبشکن محافظ (شکل ۴). با توجه به موارد بالا ۳ متغیر طول آبشکن محافظ، ۳ متغیر فاصله‌ی آبشکن محافظ تا اولین آبشکن به همراه ۳ عمق مختلف در دبی ثابت و ۳ آزمایش حالت شاهد ($l' = 0$) جمعاً ۳۰ آزمایش را شامل می‌شدند. آزمون آماری و برازش رگرسیونی داده‌ها، روابط (۱) و (۳) را به ترتیب با ضریب تعیین $R^2 = 0.92$ و $R^2 = 0.84$ برای اولین آبشکن و رابطه‌ی (۲) و (۴) را به ترتیب با ضریب تعیین $R^2 = 0.97$ و $R^2 = 0.98$ برای آبشکن محافظ ارائه می‌کند.

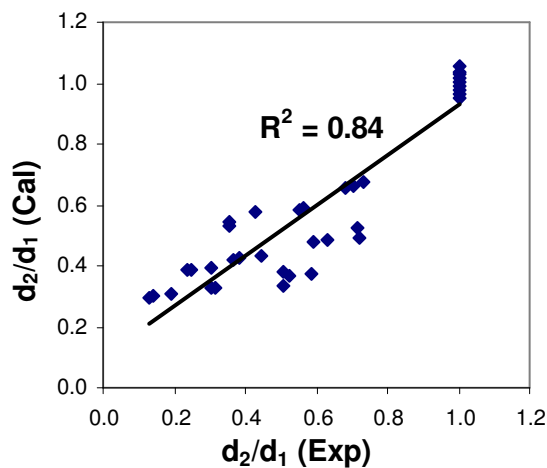
$$\frac{d_2}{d_1} = 0.011 Fr^{-0.128} \left(\frac{l'}{y}\right)^{1.605} \left(\frac{x}{l}\right)^{-0.052} \left(\frac{l'}{B}\right)^{-1.918} \quad (1)$$

$$\frac{d_3}{d_1} = 1.552 Fr^{0.114} \left(\frac{l'}{y}\right)^{0.700} \left(\frac{x}{l}\right)^{0.101} \left(\frac{l'}{B}\right)^{0.568} \quad (2)$$

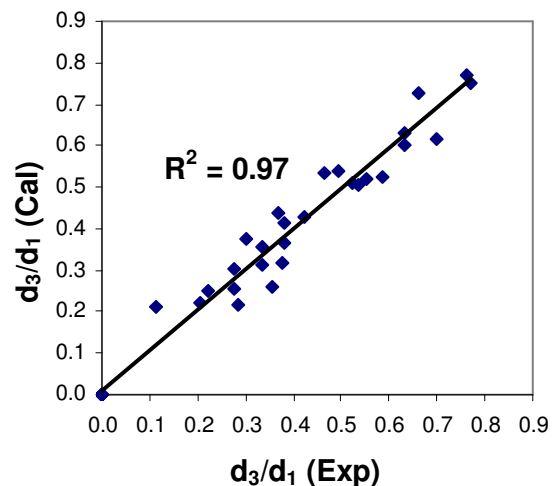
$$\frac{d_2}{y} = 0.073 Fr^{1.327} \left(\frac{l'}{y}\right)^{1.762} \left(\frac{x}{l}\right)^{0.008} \left(\frac{l'}{B}\right)^{-2.105} \quad (3)$$

$$\frac{d_3}{y} = 5.018 Fr^{1.336} \left(\frac{l'}{y}\right)^{1.042} \left(\frac{x}{l}\right)^{0.135} \left(\frac{l'}{B}\right)^{0.165} \quad (4)$$

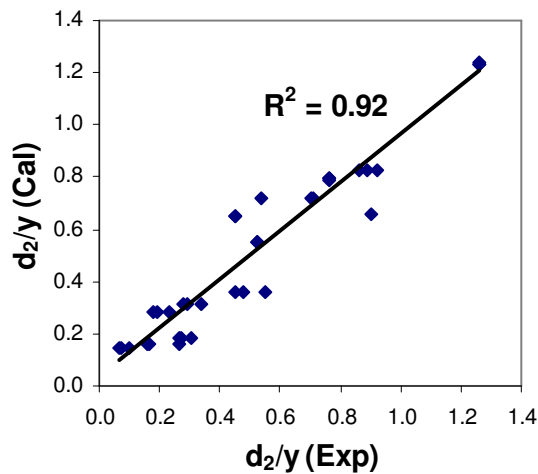
در شکل‌های (۳۲)، (۳۳)، (۳۴) و (۳۵) مقایسه‌ی داده‌های مشاهده‌ای با رابطه محاسباتی نشان داده شده‌اند.



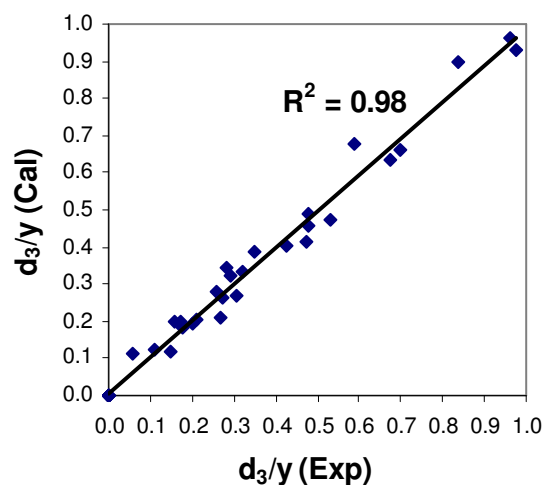
شکل ۳۲: مقایسه‌ی داده‌های مشاهده‌ای با رابطه‌ی محاسباتی برای d_2/d_1



شکل ۳۳: مقایسه‌ی داده‌های مشاهده‌ای با رابطه‌ی توانی محاسباتی برای d_3/d_1



شکل ۳۴: مقایسه‌ی داده‌های مشاهده‌ای با رابطه‌ی محاسباتی برای d_2/y



شکل ۳۵: مقایسه‌ی داده‌های مشاهده‌ای با رابطه‌ی محاسباتی برای d_3/y

بحث و نتیجه گیری

با توجه به اطلاعات بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده و همچنین تحلیل شکل‌های مربوط به پروفیل آب‌شستگی بستر (شکل‌های (۵) تا (۳۱)) اشاره شد، نتایج ذیل بدست آمده است:

شکل حفره آب‌شستگی در دماغه‌ی آب‌شکن‌ها حالت دوکی شکل دارد. محل وقوع حداکثر عمق آب‌شستگی با توجه به این که نوک آب‌شکن‌های مورد استفاده در این تحقیق حالت نوک تیز مستطیلی شکل بود، در نزدیکی گوشه سمت چپ دماغه‌ی آب‌شکن‌ها اتفاق می‌افتاد. با افزایش طول آب‌شکن فرعی عمق آب‌شستگی و همچنین حجم حفره آب‌شستگی در دماغه‌ی آب‌شکن فرعی افزایش پیدا می‌کرد. با افزایش فرود جریان، حجم حفره آب‌شستگی ایجاد شده در دماغه‌ی آب‌شکن‌ها افزایش پیدا می‌کند و همچنین شکل آن در جهت جریان کشیده می‌شود به طوری که در بعضی از مواقع به حفره آب‌شستگی دیگر آب‌شکن‌ها متصل می‌شد. بیشترین عمق آب‌شستگی، بعد از آب‌شکن اول و فرعی (در معرض مستقیم جریان قرار دارد) مربوط به آخرین آب‌شکن در سری آب‌شکن‌ها می‌باشد که به دلیل باز شدگی ناگهانی در آن ناحیه می‌باشد.

پیشنهادات

موارد زیر برای بررسی بهتر مسئله و همچنین مطالعات آینده پیشنهاد می‌شوند:

در این تحقیق دانه‌بندی‌های مورد استفاده فقط در یک انحراف معیار خاص قطر ذرات $\sigma = 1/28$ مورد آزمایش قرار گرفتند. اما پیشنهاد می‌شود که از مصالح غیر یکنواخت به عنوان مصالح بستر استفاده شود و تأثیر غیر یکنواختی و پدیده‌ی مسلح شدن بستر بر آب‌شستگی موضعی بررسی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود آزمایش‌هایی در مصالح چسبنده با درصدهای مختلف چسبندگی انجام پذیرد. نسبت تنگ شدگی (l/B) در تحقیق انجام شده ثابت و برابر

۰/۳ بود، پیشنهاد می‌شود که آزمایش‌ها برای نسبت تنگ‌شدگی‌های دیگر اجرا شود و اثر تغییر این عامل بر نتایج بدست آمده بررسی شود.

از فلومی با کناره‌های فرسایش‌پذیر برای انجام آزمایش‌ها استفاده شود.

کانال مورد استفاده در این مطالعه مستقیم بود، پیشنهاد می‌شود آزمایش‌ها در کانال پیچ و خم دار هم انجام گیرد. تأثیر شکل و زوایای مختلف آب‌شکن محافظ بر پدیده آب‌شستگی مورد بررسی قرار گیرد.

در صورت امکان آزمایش‌ها در مدت زمان طولانی‌تری جهت رسیدن به عمق تعادل آب‌شستگی انجام پذیرد و رابطه‌ی حاصل از آن با روابط ارائه شده در زمان‌های کمتر مقایسه شود.

در این تحقیق از آب‌شکن‌های بسته و غیر مستغرق استفاده شد پیشنهاد می‌شود آب‌شکن‌های مستغرق و آب‌شکن‌های نفوذ پذیر در تحقیقات به‌کار برده شود. کاربرد آب‌شکن‌ها و آب‌شکن فرعی در کانال مرکب نیز آزمایش و بررسی شود.

منابع و مراجع:

- [1] Przedwojski, B., 1995, River Training Techniques, A.A. Balkema, the Netherlands.
- [2] Peterson M.S, 1986, River Engineering, Prentice Hall. Englewood Cliffs, printed in U. S. A.
- [3] Garde. R. J., Subramanya. K., Nambudripad. K. D., 1961, Study of scour around spur-dikes, Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.87, No. HY6, P.P. 23-37.
- [4] Abdul karim Barbhuiya & Subhasish Dey, 2004 Local scour: A review. Sadhana Vol. 29, Part 5, pp. 449-476
- [5] Lacey, G, 1936, Discussion of stable channels in erodible material, by E. W. Lane: Proceedings of the ASCE, vol. 237, no. 5, p. 775-779.
- [6] Khosla, A. N., Bose, N. K., Taylor E. Mc., 1936. Design of Weirs on Permeable Foundation, Central Board of Irrigation, New dehli, India,.
- [7] Ahmad, M. 1953, "Experiments on Design and Behavior of Spur Dikes", Proc. cong of IAHR.PP.145-159.
- [8] Garde, R. j, Subramanya, M. Ascek and Namburipad, K. D. 1961, "Study of Scour around Spur Dikes", Journal of the hydraulics division, of the American engineering. HY6.23-36.
- [9] Gill Mohammad Akram, 1972, "Erosion of Sand Beds around Spur" journal of the hydraulics division, of the American society of civil engineering, HY9, 1587-1601.
- [10] Petersen, M.S., 1986, "River Engineering", Prentice-Hall, Inc. USA.
- [11] Melville B. W. 1992, "Local scour at bridge abutments", J. of Hyd. Eng., ASCE, Vol. 118, No. 4, pp. 615-631.
- [12] Kuhnle, r. A., Alonso, c. V., and shields, F. D., Jr., 2002, Local Scour Associated with Angled Spur Dikes, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.125, No.9, P.P.972-978.
- [۱۳] اندرواژ، ا. ۱۳۷۶. "کاهش فرسایش موضعی در دماغه‌ی اولین آب‌شکن پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده فنی.
- [۱۴] قربان‌خانی، ح.، ۱۳۷۷. "تأثیر درصد تنگ‌شدگی و زاویه در کاهش فرسایش دماغه‌ی اولین آب‌شکن" پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران - دانشکده فنی.