

## اثر شرایط جریان و عوامل هندسی آبشکن مستغرق در پایداری ریپرپ

ابتسام جاسمی زرگانی\* و سید محمود کاشفی پور<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳)

### چکیده

استفاده از آبشکن یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین روش‌های محافظت از سواحل می‌باشد. به دلیل شرایط هیدرولیکی جریان، آبشکن‌ها در کناره‌ها و دماغه در معرض فرسایش هستند، بنابراین نحوه محافظت و حفظ پایداری آبشکن‌ها بسیار مهم می‌باشد. جهت مقابله با آبشستگی ایجاد شده در اطراف آبشکن‌ها روش‌های متعددی ارائه شده که یکی از ساده‌ترین و در عین حال اقتصادی‌ترین روش‌ها، استفاده از ریپرپ است. در این تحقیق به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف آبشکن بر روی پایداری ریپرپ‌ها جهت محافظت از آبشکن در قوس پرداخته شده است. به منظور دستیابی به اهداف تحقیق آزمایش‌ها در یک فلوم ۹۰ درجه ملایم صورت گرفت. پس از نصب سری آبشکن‌ها ریپرپ‌ها در اطراف آبشکن بحرانی در انتهای قوس قرار داده شد. به جز آبشکن بحرانی، آبشکن قبل و بعد از آن نیز با ریپرپ‌ها محافظت شدند. ۲۰۵ آزمایش پایداری ریپرپ با سایزهای مختلف ریپرپ، تغییر پارامترهای آبشکن شامل طول، فاصله و ارتفاع آن با چهار دبی مختلف صورت پذیرفت و در پایان رابطه‌ای برای طراحی ریپرپ با استفاده از پارامترهای آبشکن و جریان جهت استفاده در مهندسی رودخانه ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: پایداری ریپرپ، حفاظت، دیواره رودخانه، قوس ۹۰ درجه

۱. گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

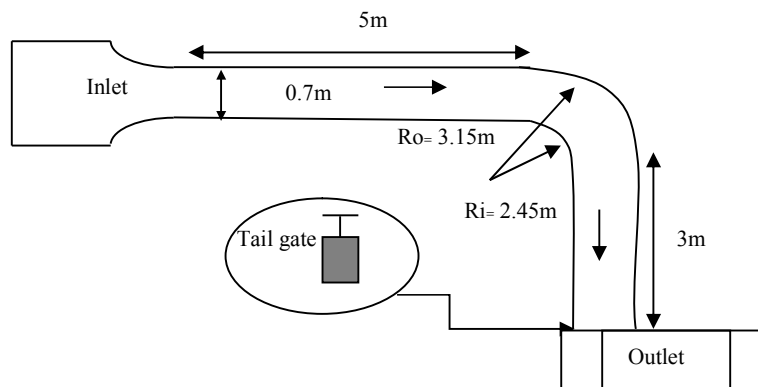
\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: e.jasemi@yahoo.com

## مقدمه

تغییرات بستر و سواحل رودخانه‌ها امر بسیار مهمی بوده و تحقیقات زیادی را به خود اختصاص داده است. این تغییرات به‌ویژه در قوس رودخانه‌ها مشهودتر است. یکی از راه‌های تثبیت دیواره در قوس خارجی استفاده از سازه‌ای به نام آبشکن می‌باشد. آبشکن‌ها می‌توانند مستغرق و یا غیرمستغرق باشند. آبشکن‌های مستغرق بیشتر در مسائلی کشتیرانی و آبشکن غیرمستغرق در مسائل آبخیزداری کاربرد دارند. کارایی اصلی آبشکن‌های رودخانه‌ای، انحراف جریان از کناره رودخانه و هدایت آن به سمت مجرای اصلی است. نتیجه انحراف جریان، توسعه یک ناحیه چرخشی با تلاطم شدید در پیرامون آبشکن است که به‌صورت گسترده‌تری در پایین دست آبشکن ظاهر می‌گردد. فرآیند هیدرولیکی این جریان، توسعه حفره آبشستگی در پیرامون آبشکن و نشست بار رسوبی در پایین دست و کناره رودخانه است. آبشستگی یک خطر جدی برای سازه آبشکن و در نتیجه برای رودخانه محسوب می‌شود. در خصوص جنبه‌های مختلف آبشکن‌ها تحقیقات گوناگونی صورت گرفته است ولی تاکنون در خصوص پایداری آبشکن‌ها تحقیقات زیادی صورت نگرفته است و تحقیقات اندک موجود غالباً در مسیر مستقیم بوده است در حالی که عمده‌ترین کاربرد استفاده از آبشکن‌ها در قوس‌ها می‌باشد و با توجه به ماهیت پیچیده جریان در خم رودخانه نمی‌توان اطلاعات مربوط به کانال‌های مستقیم را برای رودخانه‌های طبیعی به کار برد. جهت مقابله با آبشستگی ایجاد شده در اطراف پایه‌ها، دیواره‌ها و آبشکن‌ها روش‌های متعددی ارائه شده که یکی از ساده‌ترین و در عین حال اقتصادی‌ترین روش‌ها، استفاده از ریپرپ می‌باشد. ناجی به ارزیابی هیدرولیکی آبشکن مستغرق و غیرمستغرق پرداخت (۵). در آزمایش‌ها مشاهده شد نرخ آبشستگی در آبشکن با زاویه ۹۰ درجه نسبت به دیواره رودخانه سریع‌تر از آبشکن با زاویه ۶۰ درجه می‌باشد. همچنین آبشستگی اولیه در آبشکن غیرمستغرق بیش از آبشکن مستغرق مشاهده شد. آنگر و هاگر بررسی شکست ریپرپ‌های محافظ پایه پل دایره‌ای پرداختند آنان سه

مکانیزم مختلف شکست لغزشی، تخریب زیر سطحی و غلتشی را جهت ریپرپ اطراف پایه‌های پل معرفی کردند (۷). گیسونی و هاگر بر روی نقش ریپرپ در محافظت آبشکن‌ها در کانال مستقیم آزمایش‌های را انجام دادند (۳). آنها وجود تأثیر پارامترهایی از قبیل دبی، طول آبشکن، فاصله آبشکن‌ها، ارتفاع آبشکن‌ها و نیز قطر و تعداد ردیف‌های ریپرپ مورد مطالعه قرار دادند. آنان رابطه‌ای را برای تعیین نوع شکست ریپرپ براساس پارامترهای آبشکن تعریف نمودند. واید و همکاران تمامی قوس بیرونی را توسط ریپرپ پوشاندند (۴). نتایج آزمایشگاهی آنها نشان داد که ریپرپ می‌تواند به‌صورت مؤثر از آبشستگی قوس بیرونی بکاهد. اودین و حسین به بررسی میدان جریان در اطراف دهانه چوگانی آبشکن مستغرق در یک بستر متحرک پرداختند (۶). آنها دریافتند که سرعت نزدیک دهانه افزایش یافته و سرعت عمود در پست‌ترین نقطه کانال بیشتر از نواحی مرتفع‌تر می‌باشد. جریان چرخشی در نزدیکی سطح قوی‌تر و در نزدیکی بستر ضعیف‌تر مشاهده شد. واقفی و همکاران به بررسی چاله آبشستگی اطراف آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه پرداختند و تأثیر شعاع انحنا را نیز مورد آزمایش قرار دادند (۸). آنها دریافتند که با افزایش شعاع انحنا قوس طول ناحیه جداشدگی و طول گردابه بالادست افزایش می‌یابد و باعث کاهش عرض ناحیه جدایی و گردابه پایین دست می‌شود. بختیاری و همکاران به بررسی تأثیر پارامترهای هندسی آبشکن و عمق کارگذاری ریپرپ بر روی پایداری ریپرپ‌ها در یک قوس ۹۰ درجه ملایم در شرایط غیرمستغرق پرداختند (۲). افزایش کارگذاری ریپرپ در عمق بیشتر موجب افزایش پایداری ریپرپ‌ها و در نتیجه پایداری آبشکن‌ها و محافظت سواحل می‌گردد. ظهیری به بررسی هیدرولیک جریان و پایداری ریپرپ اطراف آبشکن‌ها در قوس ۹۰ درجه ملایم در شرایط غیرمستغرق پرداخت، با آنالیز نتایج آزمایش‌ها، رابطه‌ای را جهت طراحی ریپرپ در اطراف آبشکن‌ها در قوس ارائه داد (۱).

$$\frac{dR}{h} = \frac{2/86Fr^{1.4}}{(G_s - 1)^{0.11} n^{0.36}} \beta^{0.5} \quad (1)$$



شکل ۱. تجهیزات آزمایشگاهی

تحقیق معادل ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد عرض کانال آزمایشگاهی، به ترتیب معادل ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ سانتی متر، فاصله‌های طولی میان آبشکن‌ها در این آزمایش معادل ۳، ۴ و ۵ برابر طول آبشکن، شش اندازه مختلف ریپرپ با اندازه متوسط ذرات ۵/۵، ۷/۹، ۱۱/۱، ۱۴/۳، ۱۷/۹، ۲۲/۲ میلی متر و ۴ محدوده دبی برای ایجاد استغراق‌های مختلف برابر با ۲۵، ۲۹، ۳۲ و ۳۶ لیتر در ثانیه انتخاب گردید. همچنین ۳ ارتفاع آبشکن برابر با ۶/۵، ۸/۵، و ۱۰/۵ سانتی متر در آزمایش‌ها استفاده شد. در تمامی آزمایش‌ها ضخامت لایه ریپرپ برابر با  $2d_r$  و طول پوشش آن ۵ سانتی متر در نظر گرفته شد، رسوبات بستر دارای قطر ۱/۵ میلی متر با  $\sigma = 1/5$  می‌باشد. آرایش آبشکن‌ها در قوس و چیدمان ریپرپ‌ها در اطراف آبشکن در شکل (۲) نشان داده شده است. از آزمایش‌های انجام شده در ۲۰۵ آزمایش شکست صورت پذیرفت، نحوه انجام آزمایش‌ها به این ترتیب بود که پس از نصب آبشکن‌ها ابتدا جریان در آستانه حرکت رسوبات برقرار می‌شد تا ناحیه بحرانی و آبشکن بحرانی مشخص گردد. آبشکنی بحرانی است که رسوبات بستر اطراف آن سریع‌تر حرکت نمایند و چاله آبستگنی ایجاد گردد. سپس ریپرپ‌ها در اطراف آبشکن بحرانی قرار داده شد. به جز آبشکن بحرانی، آبشکن قبل و بعد از آن نیز با ریپرپ‌ها محافظت شدند. در این مرحله از انجام آزمایش‌ها ابتدا دریچه پایین دست کاملاً بسته می‌شد تا دبی و عمق به آرامی افزایش یافته و شرایط شکست ریپرپ و حرکت رسوبات بستر حاصل نشود. پس از

که در آن  $(d_r/h)$  نسبت قطر ریپرپ به عمق جریان،  $(Fr)$  عدد فرود جریان،  $(B)$  نسبت انسداد (نسبت طول آبشکن به عرض فلوم)،  $(G_s)$  چگالی ریپرپ و  $(n)$  تعداد ردیف‌های ریپرپ می‌باشند.

در این تحقیق تأثیر مشترک عوامل هندسی آبشکن و شرایط هیدرولیکی جریان در پایداری ریپرپ در شرایط مستغرق مورد بررسی قرار گرفته و رابطه‌ای جهت طراحی ریپرپ در قوس ۹۰ درجه ملایم ارائه گردیده که با شرایط غیرمستغرق نیز مقایسه می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

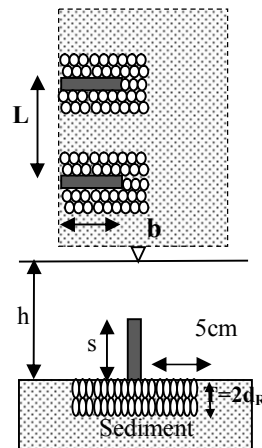
### تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. فلوم مورد استفاده در این تحقیق یک فلوم قوسی ۹۰ درجه ملایم با طول ۱۱ متر و عرض ۰/۷ متر با نسبت شعاع به عرض فلوم برابر ۴ می‌باشد. مسیر مستقیم ورودی فلوم ۵ متر و مسیر مستقیم خروجی به طول ۳ متر و بخش قوس آن نیز حدود ۳ متر است، برای تنظیم عمق، دریچه کشویی در پایین دست فلوم وجود دارد. در شکل (۱) نمایی از فلوم آزمایشگاهی نشان داده شده است.

در این آزمایش‌ها از آبشکن‌های با جنس پلکسی به ضخامت یک سانتی متر استفاده شد. طول‌های مورد آزمایش آبشکن‌ها در این



(ب)



(الف)

شکل ۲. الف) آرایش ریپرپ اطراف آبشکن و ب) ریپرپ‌های اطراف آبشکن پس از شکست

خصوصیات مواد رسوبی: قطر متوسط ذرات رسوبی ( $d_{50}$ )، چگالی رسوبات ( $\rho_s$ )، چگالی ریپرپ ( $\rho_R$ )، قطر ریپرپ ( $d_R$ )،

براساس آنالیز ابعادی به روش  $\pi$  باکینگهام می‌توان نوشت:

$$f(B, b, L, d_{50}, d_R, \rho_s, \rho, \rho_R, h, V, \mu, g, s) = 0 \quad (2)$$

اگر سه پارامتر عمق جریان ( $h$ )، سرعت جریان ( $V$ ) و جرم واحد حجم سیال ( $\rho$ ) به عنوان پارامترهای تکراری انتخاب شوند لذا می‌توان نوشت:

$$f\left(\frac{d_R}{h}, \frac{b}{B}, \frac{L}{h}, \frac{V}{\sqrt{gh}}, \frac{\mu}{\rho V h}, \frac{\rho}{\rho_R}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{s}{h}\right) = 0 \quad (3)$$

پارامتر  $\frac{\mu}{\rho V h}$  در معادله فوق عکس عدد رینولدز می‌باشد که با توجه به شرایط هیدرولیکی متلاطم حاکم بر تحقیق می‌توان از عدد رینولدز با حداقل مقدار ۳۵۷۰۰ در این تحقیق از این پارامتر صرف نظر نمود. با ادغام بعضی اعداد بدون بعد می‌توان به روابط زیر رسید:

$$f\left(\frac{b}{B}, \frac{L}{h}, \frac{s}{h}, \frac{d_R}{h}, \frac{d_R}{d_{50}}, \frac{V}{\sqrt{(G_s - 1)gd_{50}}}\right) = 0 \quad (4)$$

آنالیز پارامترهای موثر در این تحقیق نشان می‌دهد پایداری ریپرپ و در نتیجه آبشکن وابسته به عوامل زیر می‌باشد:

( $\beta = b/B$ ): نسبت طول آبشکن به عرض آبراهه یا نسبت

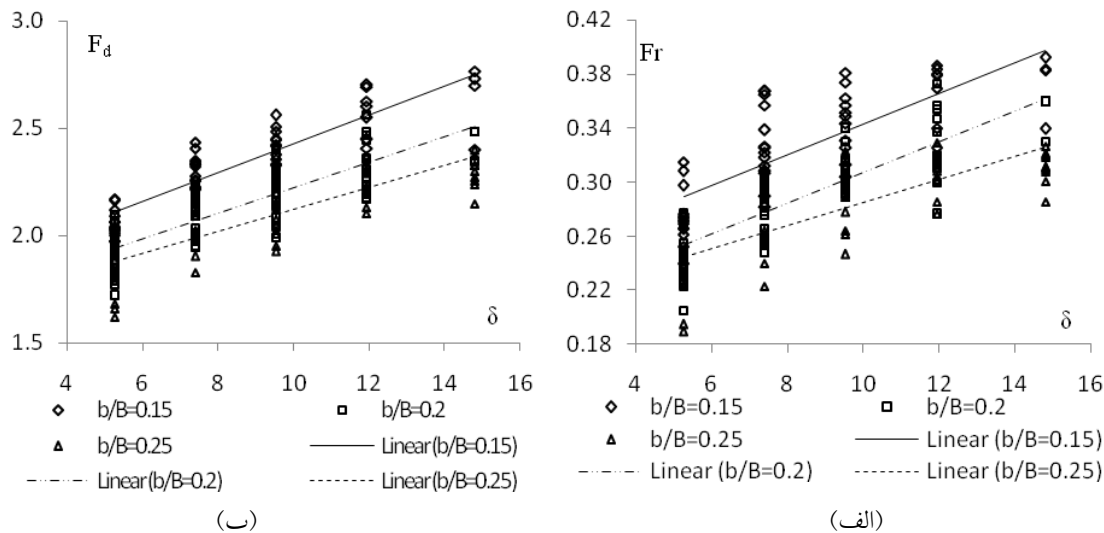
انسداد است که تنگ شدگی مقطع عبوری جریان را تعریف می‌نماید.

رسیدن به دبی از پیش تعیین شده، با باز کردن دریچه انتهایی عمق جریان به آرامی کم می‌گردد تا با افزایش سرعت جریان شکست ریپرپ رخ دهد. معمولاً برای هر تغییر عمق تا برقراری شرایط تعادل جریان و اطمینان از پایدار شدن جریان تأمل می‌گردد. منظور از شکست ریپرپ حرکت افقی و یا عمودی نزدیک‌ترین المان‌ها به آبشکن می‌باشد. در این زمان ریپرپ‌ها ناپایدار بوده و به حرکت در می‌آیند. در لحظه شکست عمق در بالادست فلوم ثبت و آزمایش به پایان می‌رسید و شرایط برای انجام آزمایش بعدی آماده می‌گردد.

#### آنالیز ابعادی و پارامترهای مؤثر

نظر به اینکه هدف این تحقیق بررسی اثر پارامترهای مؤثر بر پایداری ریپرپ اطراف آبشکن و توسعه معادله‌ای برای طراحی ریپرپ در شرایط مستغرق و در قوس ۹۰ درجه ملایم می‌باشد، لذا آنالیز ابعادی به صورت زیر انجام پذیرفت:

خصوصیات مربوط به جریان: سرعت جریان در بالادست آبشکن در لحظه شکست ( $V$ )، عمق جریان در کانال اصلی ( $h$ )، شتاب ثقل ( $g$ )، جرم واحد حجم مایع ( $\rho$ )، لزجت سیال ( $\mu$ )، خصوصیات مربوط به هندسه سیستم: عرض کانال اصلی ( $B$ )، فاصله طولی آبشکن‌ها ( $L$ )، طول آبشکن ( $b$ )، ارتفاع آبشکن ( $s$ )



شکل ۳. الف) عدد فرود جریان در برابر نسبت اندازه ریپرپ و ب) عدد فرود ذره در برابر نسبت اندازه ریپرپ، برای انسدادهای مختلف

می شود این امر باعث افزایش سرعت و تنش برشی بستر می گردد. افزایش طول آبشکن موجب شد تا شکست سنگ چین در عدد فرود ذره بالادست پایین تری رخ دهد. همان طور که شکل های (۳-الف و ۳-ب) نشان می دهند به طور متوسط با افزایش انسداد از ۱۵ به ۲۵ درصد عدد فرود جریان بالادست در لحظه شکست ۱۴/۶٪ کاهش پیدا نموده و عدد فرود رسوب بستر بالادست در لحظه شکست ۱۰/۲ درصد کاهش یافته است. بنابراین افزایش طول آبشکن تأثیر قابل مشاهده ای را بر شرایط هیدرولیکی جریان، شرایط هیدرولیکی رسوب و شکست سنگ چین می گذارد. با افزایش انسداد به دلیل تنگ شدگی ایجاد شده در مقطع عبوری جریان و افزایش سمت و نیروی برشی جریان در مقطع شرایط برای شکست در اعداد فرود و فرود ذره پایین تری در بالادست سازه فراهم می شود.

#### تأثیر فاصله آبشکن ها

هنگامی که نسبت فاصله بین دو آبشکن کمتر از ۲ باشد جریان ثانویه ای بین آبشکن ها تشکیل نمی شود که مطلوب نیست و رسوب گذاری در این فاصله نخواهیم داشت و اگر این نسبت بیش از ۴ باشد دو گردابه در بین آبشکن ها تشکیل می شود که

ارتفاع نسبی آبشکن می باشد که در آن  $S$  ارتفاع آبشکن و  $h$  عمق جریان در بالادست در لحظه شکست ریپرپ است. ارتفاع نسبی آبشکن نشان می دهد زمانی که عمق جریان با ارتفاع آبشکن برابر است این پارامتر برابر یک و در سایر شرایط از یک کمتر می شود بنابراین حداکثر مقدار ارتفاع نسبی آبشکن با این تعریف یک می باشد.

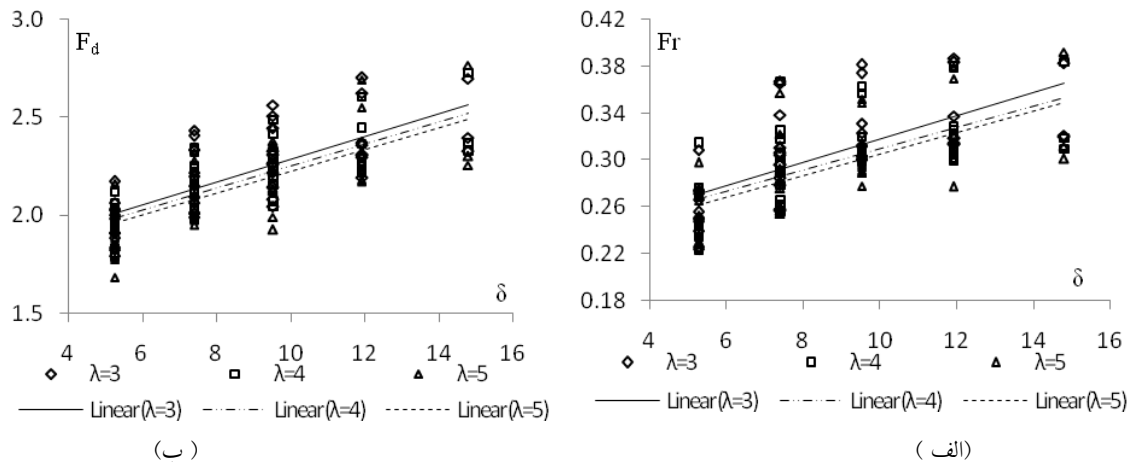
نسبت فاصله آبشکن به طول آن با نسبت فاصله بیان می شود.  $(d_R/h)$ : نسبت قطر ریپرپ به عمق جریان.  $(\delta = d_R/d_s)$ : نسبت اندازه ریپرپ به رسوبات بستر.  $Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$ : عدد فرود که معرف هیدرولیک جریان واقع در فلوم می باشد.  $F_d = \frac{V}{\sqrt{(G_s - 1)gd_s}}$ : عدد فرود ذره (رسوبات بستر) در آستانه حرکت.

#### نتایج و بحث

اثر پارامترهای آبشکن در پایداری و شکست ریپرپ

##### تأثیر انسداد

افزایش طول آبشکن، موجب کاهش عرض مقطع جریان، ایجاد جریان های گردابی و انحراف جریان از مسیر اصلی خود



شکل ۴. الف) عدد فرود جریان در برابر نسبت اندازه ریپرپ و ب) عدد فرود ذره در برابر نسبت اندازه ریپرپ، برای فاصله‌های مختلف

پایین می‌آید. به عبارت دیگر با کاهش مقدار (S) برای شکست ریپرپ با اندازه معلوم عدد فرود جریان بالادست باید بیشتر باشد. بنابراین می‌توان گفت پایداری ریپرپ نسبت عکس با مقدار (S) ارتفاع نسبی آبشکن خواهد داشت. شکل‌های (۵-الف و ۵-ب) به ترتیب رابطه اندازه سنگچین را با عدد فرود جریان در بالادست در سه ارتفاع نسبی آبشکن مختلف نشان می‌دهند، با افزایش ارتفاع نسبی آبشکن سطح مقطع عبوری جریان کاهش پیدا نموده و این امر موجب شده است تا در شرایط یکسان با افزایش ارتفاع نسبی آبشکن عدد فرود جریان بالادست در زمان شکست سنگچین ۹/۷٪ کاهش می‌یابد. با افزایش ارتفاع نسبی آبشکن، عدد فرود ذره بالادست در شرایط شکست سنگچین به طور متوسط ۶/۴٪ کاهش پیدا نموده است.

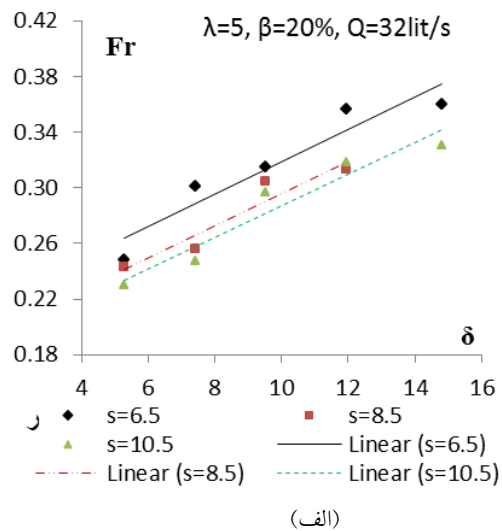
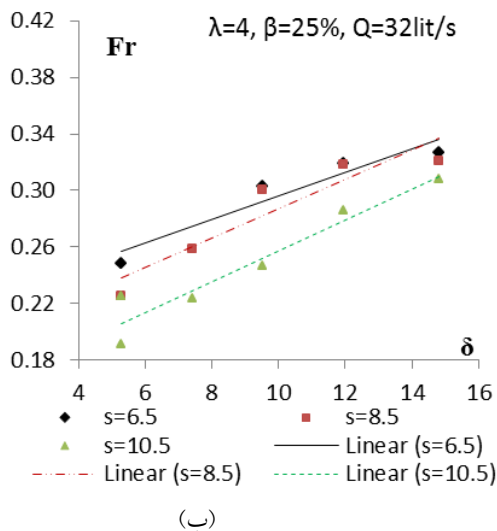
#### تأثیر قطر ریپرپ

یکی از پارامترهای مهم و تأثیر گذار در شکست ریپرپ نسبت قطر ریپرپ به عمق جریان یعنی  $d_R/h$  است. با افزایش قطر ریپرپ نیرو و تنش لازم جهت به حرکت درآوردن ریپرپ‌ها افزایش می‌یابد. همان‌طور که شکل‌های (۶-الف و ۶-ب) نشان می‌دهد با افزایش نسبت  $d_R/h$  عدد فرود لازم و عدد فرود ذره برای شکست ریپرپ افزایش یافته است.

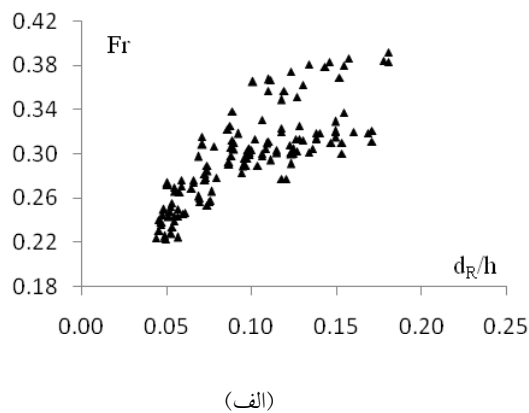
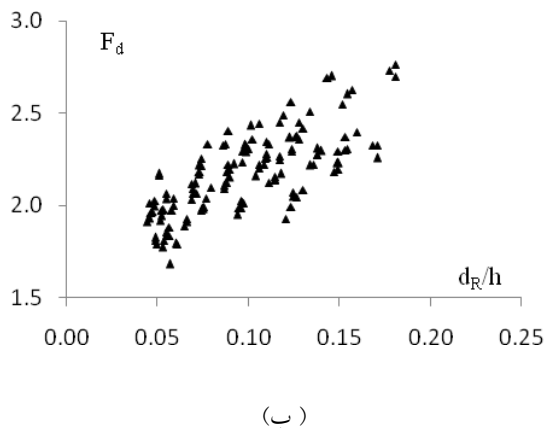
باعث آبشستگی بیشتر دماغه آبشکن می‌گردد. به طور متوسط با افزایش فاصله نسبی آبشکن از ۳ به ۵ در لحظه شکست عدد فرود جریان بالادست ۴/۴٪ کاهش پیدا نموده و عدد فرود رسوب بستر بالادست در لحظه شکست ۲/۹٪ کاهش یافته است. بنابراین افزایش فاصله نسبی آبشکن بر شرایط هیدرولیکی جریان، شرایط هیدرولیکی رسوب و شکست سنگچین تأثیر گذار است. شکل ۴ در ۳ نسبت فاصله آبشکن در زمان شکست نسبت اندازه سنگچین را با عدد فرود جریان در بالادست و عدد فرود ذره نشان می‌دهد. به طور کلی افزایش فاصله نسبی آبشکن به دلیل ایجاد جریان‌های گردابی در فاصله میان آبشکن‌ها بر پایداری سنگچین تأثیر گذار می‌باشد ولی این تأثیر همانند تأثیر تغییر طول آبشکن نمی‌باشد.

#### تأثیر ارتفاع نسبی آبشکن

در شرایطی که آبشکن مستغرق شود، یک لایه جریان چرخشی با محور افقی در امتداد طولی بدنه آبشکن و در پایین دست آن ایجاد می‌گردد. ریزش جریان همراه با تلاطم چرخشی آن، باعث آبشستگی و ناپایداری ریپرپ‌های محافظ پای آبشکن می‌شود. حداکثر مقدار ارتفاع نسبی آبشکن (S) در شرایط مستغرق معادل یک به این معنی می‌باشد که ارتفاع آبشکن با عمق جریان برابر است. در این شرایط به دلیل تلاطم جریان پایداری ریپرپ‌ها



شکل ۵. الف) اثر ارتفاع نسبی آبشکن در شرایط ثابت، و ب) عدد فرود جریان در مقابل تغییرات اندازه سنگچین



شکل ۶. الف) اثر قطر نسبی ریپرپ در مقابل ب) عدد فرود جریان و عدد فرود ذره رسوبات بستر

درصد داده‌ها ساخته شد و با ۱۵ درصد آنها صحت سنجی انجام گردید. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و به کمک آنالیز رگرسیون غیرخطی مقادیر زیر جهت ضرایب و توان‌های معادلات تعریف شده به صورت زیر به دست آمد:

$$\frac{d_R}{h} = \frac{a_1}{(G_s - 1)} \beta^{b_1} S^{c_1} \lambda^{d_1} Fr^{e_1} \quad (5)$$

$$a_1 = 16/548, b_1 = 0/87, c_1 = 0/038, d_1 = 0/176, e_1 = 2/837$$

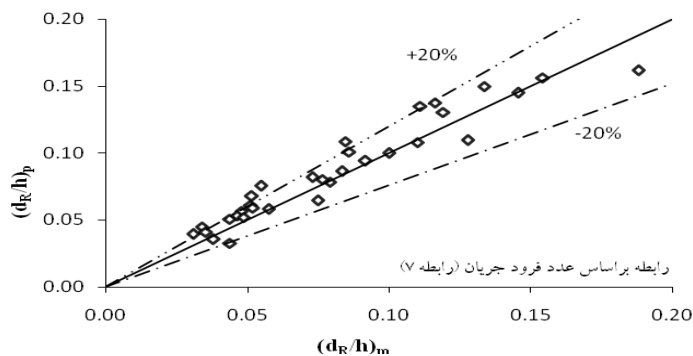
$$\frac{d_R}{h} = \frac{a_2}{(G_s - 1)} \beta^{b_2} S^{c_2} \lambda^{d_2} Fr^{e_2} \quad (6)$$

$$a_2 = 0/445, b_2 = 0/788, c_2 = 0/535, d_2 = 0/146, e_2 = 3/336$$

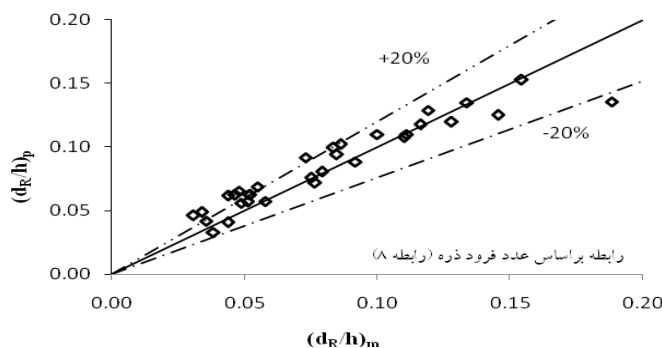
ارائه روابطی جهت طراحی ریپرپ در آبشکن مستغرق از آنجا که هدف پایداری ریپرپ‌های اطراف آبشکن می‌باشد، با توجه به اهمیت اندازه ریپرپ، و نقش نسبت انسداد، نسبت فاصله آبشکن، نسبت ارتفاع نسبی آبشکن و هیدرولیک جریان و همچنین در نظر گرفتن اندازه رسوبات بستر نیاز به استخراج معادلاتی می‌باشد که بتوان از آنها در پروژه‌ها و طرح‌های مهندسی رودخانه استفاده نمود. استخراج معادلات مورد نظر با استفاده از رگرسیون غیرخطی و توسط نرم‌افزار آماری SPSS صورت پذیرفت. تعداد آزمایش‌هایی که شکست در آنها اتفاق افتاد ۲۰۵ آزمایش می‌باشد مدل با ۸۵

جدول ۱. آنالیزهای آماری معادلات پیشنهادی برای طراحی ریپرپ در آبشکن‌های مستغرق

شماره	رابطه	R <sup>۲</sup>	RMSE	%Error
۷	$\frac{d_R}{h} = \frac{16/548}{(G_s - 1)} \beta^{0.87} S^{0.38} \lambda^{0.176} Fr^{2/837}$	۰/۸۱	۰/۰۱۲۳	۱۱/۸۸
۸	$\frac{d_R}{h} = \frac{0/445}{(G_s - 1)} \beta^{0.788} S^{0.535} \lambda^{0.146} F_d^{3/336}$	۰/۷۷	۰/۰۱۴۱	۱۲/۴۸



شکل ۷. همبستگی میان مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر به‌دست آمده از رابطه (۷)



شکل ۸. همبستگی میان مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر به‌دست آمده از رابطه (۸)

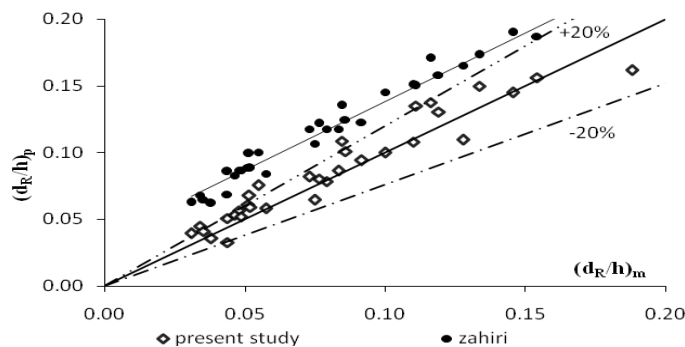
آمده با استفاده از روابط پیشنهادی به چشم می‌خورد. به‌طوری که ملاحظه می‌گردد با استفاده از روابط ارائه شده در این تحقیق، اندازه ریپرپ محاسبه شده بزرگ‌تر خواهد بود که در جهت ضریب اطمینان بیشتر است. دو خط چین معرف  $\pm 20\%$  انحراف نسبی نسبت به خط ۴۵ درجه می‌باشد.

پیش‌بینی اندازه ریپرپ با استفاده از رابطه پیشنهادی معادله (۷) و همچنین معادله ظهیری معادله (۱) که اندازه ریپرپ را در شرایط آبشکن غیرمستغرق تخمین می‌زند، در

لذا می‌توان به‌صورت کلی معادلات را به‌صورتی که در جدول (۱) آمده بیان نمود. آنالیز آماری مربوط به ارزیابی معادلات ارائه شده با ۱۵٪ داده‌هایی که در توسعه این مدل‌ها استفاده نشده بودند در جدول (۱) آمده است.

شکل‌های (۷) و (۸) مقادیر اندازه‌گیری شده  $(d_R/h)_m$  و محاسبه شده  $(d_R/h)_p$  با روابط (۷) و (۸) برای ۱۵ درصد باقی‌مانده داده‌ها نشان داده شده است. مطابق این شکل‌ها همبستگی مناسبی میان مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر به‌دست





شکل ۹. مقایسه مقادیر مشاهداتی و نتایج به دست آمده از معادله (۷) و معادله ظهیری (۱)

آبشکن و شرایط هیدرولیکی جریان در پایداری ریپرپ در شرایط مستغرق با شش اندازه مختلف ریپرپ، سه طول مختلف آبشکن، سه نسبت فاصله متفاوت و سه ارتفاع آبشکن در قوس ۹۰ درجه مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌ها در فلوم با قوس ملایم ۹۰ درجه به طول ۱۱ متر صورت پذیرفت. براساس تحقیق انجام شده تغییر پارامترهای آبشکن در شکست ریپرپ تأثیرگذار بوده و می‌توان رابطه‌ای را با توجه به این پارامترها جهت طراحی ریپرپ تعریف نمود و رابطه‌ای بدین منظور تعریف شد.

با انجام تحقیق مشاهده شد که با افزایش طول آبشکن، فاصله بین آبشکن‌ها و ارتفاع نسبی آبشکن پایداری ریپرپ‌ها کاهش یافته و شکست ریپرپ محافظ آبشکن سریع‌تر اتفاق می‌افتد. مشاهده شد که ریپرپ‌های بزرگ‌تر پایداری بیشتری را در عدد فرود ذره بیشتر دارند.

برابر اندازه ریپرپ‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها در شکل (۹) آمده است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد اندازه ریپرپ‌های به دست آمده با معادله (۱) بزرگ‌تر از اندازه‌های پیش‌بینی شده در تحقیق حاضر است. از آنجا که شرایط آزمایشگاهی هر دو تحقیق یکسان بوده، دلیل آن شرایط غیرمستغرق آبشکن‌ها در تحقیق ظهیری (۱) می‌باشد، در شرایط مستغرق توسعه گردابه‌های قائم آشفته کمتر بوده و پایداری بیشتری را نسبت به شرایط غیرمستغرق دارا می‌باشد بنابراین در شرایط مستغرق آبشکن‌ها پایدارتر بوده و نیاز به اندازه و قطر کمتری از ریپرپ یا سنگ‌چین جهت محافظت از آبشستگی دماغه آبشکن می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در این تحقیق تأثیر مشترک عوامل هندسی

### منابع مورد استفاده

۱. ظهیری، ج. ۱۳۹۱. بررسی هیدرولیک جریان و پایداری ریپرپ اطراف آبشکن‌ها در قوس ۹۰ درجه. پایان نامه دکتری مهندسی آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
2. Bakhtiyari, M., S. M. Kashefipour, M. Ghomshi and J. Zahiri. 2012. Effect of geometric parameters of spur dike and depth-placed riprap on its failure threshold in a 90° flume bend. Ecology, Environment and Conservation. 4: 479-484.
3. Gisonni, C and W. H. Hager. 2008. Spur failure in river engineering. J. of Hyd. Eng. ASCE 134(2): 135-145.
4. Martin-Vide, J. P., M. Roca and C. A. Alvarado. 2010. Bend scour protection using riprap. Water Manage. 163: 489-497.
5. Nagy, H. M. 2005. Hydraulic evaluation of emerged and submerged spur-dikes: temporal bed evolution and equilibrium state characteristics. Alexandria Eng. J. 44(2): 279-290.
6. Uddin, M. J. and M. M. Hossain. 2011. Investigation of flow field around submerged bell mouth groin: an

- experimental study. Int. J. of Eng. & Applied Sci. IJEAS 3(1): 55-70
7. Unger, J. and W. H. Hager. 2006. Riprap failure at circular bridge piers. J. of Hyd. Eng. ASCE 132(4): 354-362.
  8. Vaghefi, M., M. Ghodsian and S. Neyshabouri. 2012. Experimental study on scour around a T-shaped spur dike in a channel bend. J. of Hyd. Eng. ASCE. 138(5): 471-474.

## Effect of the Flow and Geometric Parameters of Submerged Spur Dike on Riprap Stability

E. Jasemi Zargani<sup>1\*</sup> and S. M. Kashefipour<sup>1</sup>

(Received: Dec. 15-2013 ; Accepted: Feb. 01-2017)

### Abstract

Spur dikes are the most common hydraulic structures for river bank protection. Since the construction of this structure causes higher velocities around it, this structure is exposed to erosion. Riprap around the structure nose is one of the most common and economic way to protect spur dike. The main aim of this study is to investigate the riprap stability in a mild 90 degrees bend. Experiments were conducted in a laboratory flume with a 90 degree bend. After specifying the critical spur dike along the bend, this spur and one before and one after it were protected by riprap. The variables were the length of the structure, spur space, riprap size, Froude number, and the amount of submergence, and 205 experiments were carried out in this flume. Finally an experimental equation was developed based on the flow and geometric parameters of submerged spur dike, which can be applied for designing the riprap size.

**Keywords:** Spur dikes, Protection, River bank, 90<sup>0</sup> bend, Riprap stability.

---

1. Dept. of Hydraulic Structure, College of Water Eng., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: e.jasemi@yahoo.com