

بررسی آزمایشگاهی تأثیر عمق کارگذاری ریپر بر پایداری آن جهت محافظت از آبشکن در قوس ۹۰ درجه به منظور استفاده در رودخانه‌های قابل کشتیرانی و خلیج‌ها

مرتضی بختیاری^{۱*}، سید محمود کاشفی‌پور^۲، مهدی قمشی^۲

۱. دانشکده مهندسی دریا دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

۲. دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۶

چکیده

یکی از کاربردهای آبشکن‌ها تأمین قابلیت کشتیرانی رودخانه از طریق تنظیم و تثبیت عرض و عمق کافی، تغییر تراز بستر برای توسعه عمق مناسب می‌باشد. امروزه استفاده از آبشکن‌ها به منظور ارتقاء شرایط زیست محیطی نیز در طول مسیر یک رودخانه به کار برده می‌شوند. یکی از موارد مهم در مورد آبشکن‌ها نحوه محافظت و حفظ پایداری آن‌ها می‌باشد که کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. 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 ریپر می‌باشد. در این تحقیق هدف، بررسی تأثیر عمق کارگذاری ریپر بر روی پایداری ریپر‌ها جهت محافظت از آبشکن‌ها در قوس می‌باشد. به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، از یک نوع ریپر با قطر تقریباً یک سانتی‌متر استفاده شد که در سه عمق کارگذاری و برای شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت این شرایط عبارت بودند از: سه طول آبشکن معادل ۲۰، ۱۵ و ۲۵ درصد عرض مجرا، دو زاویه (۹۰ و ۱۲۰) و سه فاصله طولی (معادل ۵، ۳ و ۷ برابر طول آبشکن). نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که در کلیه موارد آزمایش استفاده از ریپر در عمق کارگذاری بیشتر موجب پایداری بیشتر آن‌ها و در نتیجه محافظت بهتر آبشکن‌ها خواهد شد. افزایش در طول و نیز فاصله طولی بین آبشکن‌ها موجب کاهش پایداری و افزایش زاویه نسبت به جهت جریان افزایش پایداری آبشکن‌ها در قوس می‌گردد.

واژگان کلیدی: آبشکن، پایداری ریپر، عمق کارگذاری، قوس، پایداری سواحل، رودخانه‌های قابل کشتیرانی

۱. مقدمه

یکی از بالاترین خسارات ناشی از حوادث غیر مترقبه، پدیده فرسایش سواحل می باشد. یکی از وظایف دولت‌ها کاهش اثرات بلایای طبیعی بوده است. همین امر به روشنی لزوم یافتن راه حل اصولی برای کنترل و پیشگیری و کاهش خسارت ناشی از آنها را به اثبات می رساند. استفاده از آبشکن یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین روش‌های محافظت از سواحل می باشد. این سازه علاوه بر محافظت سواحل در برابر فرسایش، به منظور متمرکز نمودن جریان به سمت مرکز رودخانه به منظور اهداف کشتیرانی و نیز ارتقاء شرایط زیست محیطی کاربرد دارد. آبشکن‌ها در شرایط مختلف عملکردهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند لذا از آنها می‌توان در اغلب موارد فعالیت‌های مهندسی رودخانه استفاده نمود. آبشکن‌ها در شرایط سیلابی مستغرق بوده ولی در حالت کم آبی در معرض جریان آب قرار نمی‌گیرد در چنین حالتی آبشکن‌ها رفتاری شبیه تکیه‌گاه پل دارند لذا هر گونه اظهار نظر و تصمیم‌گیری در خصوص این دو سازه می‌تواند در مورد یکدیگر بکار برده شود. تا کنون در خصوص جنبه‌های مختلف آبشکن‌ها تحقیقات گوناگونی صورت گرفته است به عنوان مثال بررسی وضعیت قرار گیری آبشکن‌ها، اندازه آبشکن‌ها، زاویه قرار گیری آنها در مسیرهای مستقیم و گاهی اوقات غیر مستقیم مورد بررسی قرار گرفته است ولی تاکنون در خصوص پایداری آبشکن‌ها تحقیقات زیادی صورت نگرفته است و تحقیقات اندک صورت گرفته در مسیر مستقیم بوده است در حالیکه عمده ترین 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 بکار 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 استفاده از ریپرپ به دلیل در دسترس بودن مصالح، سادگی اجرا و هزینه‌های کم بسیار متداول است. علی‌رغم مزایای عنوان شده در فوق، چنانچه طراحی ریپرپ به درستی صورت نگیرد، پس از مدتی به تدریج تخریب شده و اثر خود را از دست خواهد داد. بر همین اساس هر گونه طراحی موفقیت آمیزی می‌بایستی جهت حالت‌های مختلف شکست مورد بررسی قرار گیرد. بر اساس نظر Lagasse et al (2001) شکست ریپرپ به سه دسته تقسیم شد که شامل فرسایش المانهای ریپرپ، فرسایش زیرسطحی و فرسایش توده‌ای می‌باشد. فرسایش المانهای ریپرپ تحت تاثیر اندازه سنگ‌های ریپرپ در مقایسه با نیروهای هیدرودینامیکی و توربولانسی می‌باشد، هر چند شیب ریپرپ، ضربه و سایش و یخ یا موج نیز می‌توانند باعث این نوع تخریب شوند. فرسایش زیر سطحی زمانی اتفاق می‌افتد که مواد بستر که ریزتر از المانهای ریپرپ می‌باشند از بین خلل و فرج ریپرپ خارج شده و باعث نشست ریپرپ گردند. استفاده از فیلتر تا حد زیادی این نوع فرسایش را کاهش می‌دهد. فرسایش توده‌ای نیز زمانی اتفاق می‌افتد که قسمت عظیمی از المانهای ریپرپ و یا مواد بستر تحت تاثیر نیروهای ثقلی لغزیده و یا ریزش کنند (Lagasse et al, 2001).

با توجه به اهمیت و لزوم محافظت از سواحل تا کنون تحقیقات بسیار زیادی در این زمینه صورت گرفته است طیف وسیعی از این تحقیقات بر روی جنبه‌های مختلف آبشکن بوده و کمتر در خصوص پایداری و محافظت این سازه صورت گرفته است. تحقیقات داخلی و خارجی صورت گرفته در خصوص آبشکن‌ها را می‌توان به دو بخش کلی تقسیم بندی نمود.

بخش اول: ، مطالعات عددی و آزمایشگاهی صورت گرفته در خصوص الگوی جریان و رسوب در مسیر

مقابل آبشستگی موضعی مقاومت کند. (Lauchlan et al, 2001).

Hager et al (2002) با استفاده از مجموعه وسیعی از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به آستانه حرکت و با کمک گرفتن از دیاگرام شیلدز به بررسی آستانه حرکت رسوبات در شرایط نزدیک به جریان یکنواخت جهت رسوبات یکنواخت و غیر یکنواخت برای دو دانسیته مختلف پرداختند. اندازه رسوبات مورد استفاده از ماسه تا شن متغیر بوده است. هدف دیگر این تحقیق عمومیت دادن شرایط آستانه حرکت معرفی شده جهت المانهای موجود در کانال بوده است. این دو محقق با استفاده از مطالعه صورت گرفته توسط Hager et al (2000) و بر اساس عدد بی بعد ذره دیاگرام شیلدز را به سه قسمت رژیم لزوج، رژیم انتقالی و رژیم توربولانت یا آشفته تقسیم کردند (Hager et al, 2002).

Melville et al (2007) آزمایشاتی را جهت بررسی پایداری ریب رپ در اطراف دیواره‌ها انجام دادند. هدف از این تحقیق تعیین اندازه مناسب سنگهای ریب رپ جهت مقاومت کردن در مقابل گسیختگی ناشی از برش^۲ جریان بوده است. فلوم مورد استفاده دارای ۱/۵ متر عرض بوده و دیواره بصورت عمود بر ساحل جانبی در بستر متحرک دشت سیلابی کانال قرار گرفته است. شیب جداره کانال اصلی ۱:۱ انتخاب گردید. در حقیقت فلوم مورد استفاده به عنوان مدلی از رودخانه‌ای با عرض آبراهه ۴۰ متر بر اساس تشابه هندسی ساخته شد. آزمایشات در دو عمق جریان $y_m = 100mm$ (عمق لبریزی مقطع اصلی آبراهه) و $y_m = 170mm$ (در این حالت عمق جریان در دشت سیلابی ۷۰ میلیمتر می‌باشد) صورت گرفت (Melville et al, 2007).

Abad et al (2008) از داده‌های سه بعدی اندازه‌گیری شده مربوط به سرعت در آبراهه‌های کوچک کشاورزی در منطقه Midwest جهت تعیین الگوی جریان در

مستقیم و بخش دوم:، مطالعات عددی و آزمایشگاهی صورت گرفته در خصوص الگوی جریان و رسوب در قوس است. Chiew (1995) پایداری ریب رپ را در اطراف پایه پل مورد بررسی قرار داد. آزمایشات در یک فلوم آزمایشگاهی صورت گرفت و در طی آن سه مکانیزم مختلف شکست شناسایی شد. این مکانیزم‌ها به طور همزمان و یا مجزا باعث تخریب لایه ریب رپ می‌گردند. این سه مکانیزم عبارتند از: گسیختگی ناشی از برش، تخریب زیر سطحی و تخریب لبه‌ای. این آزمایشات در یک فلوم با طول ۱۸ متر و ۰/۶ متر عرض و ۰/۶ متر عمق صورت گرفت. پایه‌ها به قطر ۷۰ میلیمتر از جنس پرسپکس ساخته شد. براساس آزمایشات صورت گرفته مشخص شد که آبشستگی پای پل زمانی شروع می‌شود که سرعت متوسط جریان ۰/۳ سرعت متوسط بحرانی رسوبات بستر گردد. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به تاثیر ضخامت لایه ریب رپ بر روی شکست آن می‌باشد. بر این اساس در صورتیکه لایه ریب رپ ضخیم در نظر گرفته شود، حتی بدون وجود فیلتر نیز می‌توان از تخریب زیرسطحی جلوگیری کرد (Chiew et al, 1995). Lauchlan et al (2001) مکانیزم‌های شکست، پایداری و تاثیر قرارگیری ریب رپ در اطراف پایه‌های پل را مورد بررسی قرار دادند. آزمایشات جهت تعیین توانایی سنگهای ریب رپ در محافظت از پایه پل تحت شرایط متنوع جریان صورت گرفت تاثیر نحوه قرارگیری ریب رپ در کف بستر رسوبی نیز با شرایطی که ریب رپ همتراز با سطح بستر باشد، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش سرعت جریان، توانایی سنگهای ریب رپ جهت محافظت پایه تا زمانیکه عمق آبشستگی در محل لایه ریب رپ به حالت تعادل پایه محافظت نشده برسد، کاهش می‌یابد. همچنین مشخص شد با قرار دادن ریب رپ در اعماق بیشتر، ریب رپ کمتر تحت تاثیر فرم بستر قرار گرفته و بهتر می‌تواند در

² Shear Failure

دارای عرض ۳/۰۵ متر، طول ۱۹/۸۱ متر و عمق ۲/۲۹ متر بوده است. محدوده آزمایش در فلوم دارای ۷ متر طول بوده و دیواره‌های شیشه‌ای داشته تا مشاهده جریان از خلال آن آسان‌تر گردد (Morales et al, 2008).

Dey et al (2008) آزمایشاتی را جهت تعیین فرسایش موضعی و پایداری ریپ رپ در اطراف دیواره با لبه‌های ۴۵ درجه در بستر فرسایش پذیر با رسوبات غیر چسبنده انجام دادند. دیواره به کار رفته به صورت کوتاه بوده که در آن طول دیواره به عمق جریان کوچکتر از ۱ بوده است (Dey et al, 2008).

Cardoso et al (2009) آزمایشاتی را در یک کانال مستطیلی با بستر ماسه‌ای و چهار طول مختلف دیواره، سه اندازه مختلف ریپ رپ و دو نوع ماسه مختلف انجام دادند. هدف از این تحقیق طراحی پوشش ریپ رپ جهت مقابله با فرسایش در نزدیکی دیواره‌های عمودی پل تحت شرایط آب تمیز^۳ بوده است. پارامترهای مورد بحث در این تحقیق شامل قطر ریپ رپ D_{r50} ، طول جانبی پوشش ریپ رپ (w) و ضخامت آن (t) بوده است. آزمایشات در یک کانال بتنی به طول ۲۸ متر و عرض ۴ متر و ارتفاع ۱ متر انجام شد. بازه مربوط به قرارگیری پاره‌سنگها دارای ۳ متر طول، ۴ متر عرض و ۰/۶ متر عمق بوده و از فاصله ۱۳/۹ متری ورودی فلوم آغاز می‌شد. نتایج حاصل از آزمایشات صورت گرفته را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود:

۱- قطر ریپ رپ جهت محافظت از دیواره به عدد فرود جریان ونیز نسبت طول دیواره به عمق جریان بستگی دارد، که این نسبت در تحقیقات قبلی در نظر گرفته نشده است؛

۲- مفهوم شدت جریان بحرانی را می‌توان جهت آستانه فرسایش بکار برد. این محققین معادله‌ای ارائه داده که

اطراف Bendway های احداث شده در قوس آبراهه استفاده نمودند. این محققین مدل ریاضی سه بعدی جهت شبیه‌سازی الگوی جریان در اطراف Bendway توسعه داده و از داده‌های واقعی جهت کالیبره کردن مدل خود استفاده کردند. نتایج حاصل از مدل نشاندهنده مطابقت سرعتها و انرژیهای توربولانت جنبشی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده می‌باشد (Abad et al, 2008).

Gisonni et al (2008) با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی به بررسی تاثیر پارامترهایی از قبیل؛ طول آبشکن، فاصله آبشکن‌ها، ارتفاع آبشکن به همراه قطر و تعداد ردیف‌های ریپ رپ و تعدادی از پارامترهای هیدرولیکی بر روی پایداری ریپ رپ پرداختند هدف از این تحقیق ارائه معادلاتی جهت تخمین اندازه قطر ریپ رپ و تعداد ردیف‌های آن جهت محافظت از آبشکن بوده است. طول فلوم مورد استفاده در این تحقیق ۵ متر با عرض ۱ متر می‌باشد. حداکثر عمق جریان در آزمایشات ۰/۴ متر و حداکثر دبی مورد استفاده ۱۳۰ لیتر بر ثانیه بوده است. قطر متوسط ذرات بستر ۱/۱ میلی‌متر با ضریب غیر یکنواختی ۱/۱۸ انتخاب گردید. طول آبشکن‌های مورد استفاده ۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵، ۰/۲۰، ۰/۳۵ و ۰/۵ متر و شیب تاج آبشکن از افقی تا شیب ۱:۵ متغیر انتخاب شد. ریپ رپ به صورت دایره-وار و یک لایه منفرد در اطراف آبشکن‌های اول و دوم و بدون فیلتر بر روی رسوبات بستر قرار گرفت. زاویه آبشکن‌ها معمولاً ۹۰ درجه بوده ولی چند آزمایش با زاویه ۶۰ و ۱۲۰ درجه نیز انجام شد (Gisonni et al, 2008).

Morales et al (2008) از یک مدل بزرگ مقیاس دیواره پل جهت بررسی کارایی ریپ رپ در مقابله با آبشستگی اطراف دیواره استفاده کردند این محققین جهت آزمایشات خود از یک فلوم بزرگ مقیاس در آزمایشگاه IIHR، علوم آب و مهندسی استفاده کردند. این فلوم

³ Clear Water Regime

در این معادلات $T_i = \frac{\tau_i}{(\rho_s - \rho)gd_s} = \frac{S_0 R_h}{\rho' d_{50}}$ که به عنوان تنش برشی بی‌بعد آستانه حرکت شناخته می‌شود. از آنجا که تخمین S_0 کار بسیار مشکلی است می‌توان با استفاده از معادله مانینگ-استریکلر آن را حذف کرد.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} \quad (2)$$

که در آن V = سرعت متوسط مقطع، S_0 = شیب سطح آزاد و R_h = شعاع هیدرولیکی می‌باشد. با توجه به رابطه استریکلر می‌توان ضریب زبری مانینگ را بر حسب اندازه متوسط ذره نوشت:

$$\frac{1}{n} = 6.75 g^{1/2} d_{50}^{-1/6} \quad (3)$$

حال می‌توان نوشت که:

$$T_i = \frac{S_0 R_h}{\rho' d_{50}} = (n V_i / R_h^{2/3})^2 (R_h / \rho' d_{50}) \quad (4)$$

پس از آن عدد فرود آستانه حرکت ذره

$$F_{di} = V_i / (g' d_{50})^{1/2} \text{ بصورت زیر خواهد بود:}$$

$$F_{di} = 6.75 T_i^{1/2} (R_h / d_{50})^{1/6} \quad (5)$$

براین اساس برای سه محدوده D_* که قبلاً معرفی شد معادلاتی بر اساس دینامیک سیال، مشخصات رسوب و عمق جریان نسبی (R_h / d_{50}) وجود خواهد داشت.

۲. مواد و روشها

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، مراحل عملی و آزمایشات در آزمایشگاه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت. مهمترین قسمت‌ها و تجهیزات موجود در آزمایشگاه شامل:

- ۱- مخزن آرام کننده ورودی، ۲- مسیر مستقیم ورودی بطول ۵ متر، ۳- قوس ۹۰ درجه ملایم به طول ۱۱ متر، ۴- مسیر مستقیم خروجی بطول ۳ متر، ۵- دریچه کشویی، ۶- مخزن آرام کننده خروجی، ۷- پمپ، ۸-

بر اساس آن با افزایش نسبت طول دیواره به عمق جریان، قطر ریپ رپ نیز افزایش می‌یابد.

۳- هرچند که نمی‌توان فرسایش اطراف دیواره را بطور کامل حذف نمود ولی با افزایش تعداد لایه‌های ریپ رپ به بیش از ۶ می‌توان میزان فرسایش را به حداقل مقدار خود رساند (Cardoso et al, 2009).

با توجه به اینکه تحقیقات صورت گرفته اغلب پیرامون الگوی جریان و رسوب آبشکن‌ها بوده و در زمینه پایداری و محافظت آبشکن‌ها کمتر مطالعه صورت گرفته و این مطالعات نیز در مسیر مستقیم بوده، لذا تحقیق حاضر به منظور بررسی شرایط کارگذاری ریپ‌رپ روی آبشستگی پنجه آبشکن انجام گرفت.

تئوری حاکم

شیلدز در سال ۱۹۳۶ دیاگرامی ارائه داد که در آن عدد رینولدز ذره $R_* = \frac{u_* d_s}{\nu}$ را به پارامتر انتقال یعنی

$$T_i = \frac{\tau_i}{(\rho_s - \rho)gd_s} \text{ مربوط می‌کند. در این رابطه } u_* =$$

سرعت برشی، τ_i = تنش برشی آستانه می‌باشد. این رابطه نقدهای زیادی را به همراه داشته ولی تا امروز به عنوان بهترین رابطه جهت آستانه حرکت رسوبات به حساب می‌آید. امروزه معادلات متعددی جهت منحنی آستانه حرکت شیلدز معرفی شده ولی اغلب آنها پیچیده می‌باشند. یکی از این معادلات توسط Hager et al

(2000) براساس عدد بی‌بعد اندازه ذره

$$D_* = (g' / \nu^2)^{1/3} d_{50} \text{ محدوده مورد نظر را به سه}$$

قسمت تقسیم کردند. در رابطه فوق

$$g' = [(\rho_s - \rho) / \rho] g = \rho' g \text{ می‌باشد. بر این}$$

اساس دیاگرام شیلدز را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$\begin{aligned} T_i &= 0.120 D_*^{-1/2} & D_* &\leq 10 \\ T_i &= 0.026 D_*^{1/6} & 10 &< D_* < 150 \\ T_i &= 0.060 & D_* &\geq 150 \end{aligned} \quad (1)$$

هر تغییر عمق یا دبی به مدت ۵ دقیقه صبر می‌کنیم تا جریان مورد نظر به طور کامل بر فلوم حاکم شود. پس از این زمان اگر هیچ کدام از حالات شکست اتفاق نیفتاد، عمق جریان را تغییر می‌دهیم. منظور از شکست ریپ رپ در این تحقیق حرکت افقی و یا عمودی نزدیک‌ترین المانها به آبشکن می‌باشد.

در یک تحقیق آزمایشگاهی جامع وضعیت پایداری آبشکن در قوس ۹۰ درجه ملایم مورد بررسی گرفت. به منظور آزمایش‌های تحقیق حاضر در انتخاب پارامترهای مورد نیاز از استانداردهای موجود در زمینه طراحی آبشکن‌ها استفاده گردید بدین ترتیب که طول‌های مورد آزمایش در این تحقیق به ترتیب ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ سانتی‌متر معادل ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد عرض کانال آزمایشگاهی، زاویه‌های مورد آزمایش در این تحقیق شامل ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه، فاصله‌های طولی میان آبشکن‌ها معادل ۳، ۴، ۵ و ۷ برابر طول آبشکن انتخاب گردید. نظر به اهمیت رودخانه‌های بزرگ، در این تحقیق پارامترهای متغیر به گونه‌ای انتخاب شده اند که نتایج حاصل از این تحقیق قابل کاربرد برای رودخانه-های بزرگ و خلیج‌ها باشد. که در مقاله حاضر بخشی از نتایج این تحقیق ارائه شده است.

نظر به اینکه هدف از انجام تحقیق تأثیر پارامترهای هندسی آبشکن بر روی پایداری ریپ‌رپ جهت محافظت از آبشکن‌ها در قوس ۹۰ درجه می‌باشد لذا از یک نوع ریپ‌رپ با قطر تقریباً یک سانتی‌متر در سه عمق کارگذاری $\left(\frac{T}{D_{50}} = 0,2,4\right)$ و در یک ردیف به طول ۵ سانتی‌متر استفاده گردید.

در شکل (۱) نمایی از فلوم آزمایشگاهی نشان داده شده است.

آنالیز ابعادی

پارامترهای موثر در این تحقیق عبارتند از:

۱- خصوصیات مربوط به هندسه سیستم

حوضچه مکش پمپ، ۹- مخزن تامین هد اصلی (تانک) با بار ثابت، ۱۰- لوله‌های رابط و شیر آلات،

انجام آزمایش‌ها

در این تحقیق از یک فلوم قوسی ۹۰ درجه به طول ۱۱ متر، عرض ۷۰ سانتی‌متر و نسبت شعاع به عرض $\frac{R}{B} = 4$ جهت انجام آزمایشات استفاده شده است.

پارامترهای متغیر در آزمایشات این تحقیق شامل دبی (Q)، طول آبشکن (w)، زاویه آبشکن (θ)، تعداد ردیف‌های ریپ رپ (n)، فاصله طولی آبشکنها (L_s)، عمق کارگذاری ریپ رپ (T) می‌باشد. نحوه انجام آزمایشات به این ترتیب می‌باشد که در ابتدا سطح بستر را کاملاً صاف کرده و سپس توپوگرافی بستر را برداشت کرده تا پس از آزمایش بتوان مقادیر رسوبگذاری و فرسایش را به طور دقیق تعیین کرد. آزمایشات این تحقیق در دو بخش صورت پذیرفت بخش اول آزمایشات شامل بررسی هیدرولیک جریان و وضعیت آبستگي قوس بدون حضور آبشکن‌ها به عنوان آزمایش‌های شاهد می‌باشد. متغیرهای مورد نظر در این سری آزمایشات شامل دبی و عمق جریان و ریپ رپ در کف می‌باشند در بخش دوم این آزمایشات که آزمایشات اصلی این تحقیق می‌باشد ابتدا آبشکن‌ها در موقعیت مورد نظر خود قرار داده می‌شوند. محل قرار گیری آبشکن بر اساس محدوده مورد حمله جریان و در نتیجه محدوده فرسایش‌پذیر انتخاب می‌گردد.

پس از تعیین این محدوده آبشکن‌ها با ابعاد و زوایا و ارتفاع‌های مورد نظر در محدوده فرسایش‌پذیر قوس قرار گرفته و ریپ‌رپ‌های مختلف با آرایش‌های از پیش تعیین شده در اطراف آبشکن‌ها قرار می‌گیرند. در این مرحله از انجام آزمایشات دبی و یا عمق را به تدریج افزایش داده تا شرایط شکست ریپ رپ حاصل شود. در این سری از آزمایشات با توجه به دبی از پیش تعیین شده، دریچه را به آرامی پایین آورده تا اینکه شرایط ایجاد شده به شکست ریپ رپ منجر شود. معمولاً برای

هیدرولیکی متلاطم حاکم بر تحقیق فوق می‌توان از عدد رینولدز صرف نظر نمود.

همچنین با ترکیب سه پارامتر عدد فرود (Fr)، دانسیته نسبی المان‌های ریپ ریپ (Gs) و $\left(\frac{d_{50}}{h_o}\right)$ می‌توان به عدد فرود ذره (F_d) که یکی از پارامترهای مهم در این زمینه به حساب می‌آید رسید. بر این اساس شکل کلی رابطه به صورت زیر تغییر می‌یابد:

(۸)

$$f\left(\frac{b}{B}, \theta, \frac{T}{D_{50}}, \frac{V_i}{\sqrt{(G_s - 1)gd_R}}, \frac{\lambda}{h_o}\right) = 0$$

نظر به اینکه در تحقیق حاضر بررسی وضعیت پایداری می‌باشد لذا پارامتر چهارم در معادله شماره (۸) عدد پایداری نامگذاری می‌شود.

۳. نتایج

بررسی پایداری ریپ‌رپ در عمق‌های کارگذاری

مختلف برای طول‌های متفاوت آبشکن

به منظور بررسی پایداری ریپ‌رپ در عمق‌های کارگذاری مختلف، اقدام به انجام آزمایش‌هایی در طول‌های مختلف صورت گرفت. بدین منظور از سه طول آبشکن ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ سانتیمتر معادل ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد عرض فلوم آزمایشگاهی استفاده گردید.

در شکل‌های (۱) تا (۸) وضعیت پایداری ریپ‌رپ برای طول‌های مختلف آبشکن نشان داده شده است. شکل‌های (۱) تا (۳) برای زاویه قرارگیری ۹۰ درجه آبشکن-ها و شکل‌های (۴) تا (۶) برای زاویه ۱۲۰ درجه (آبشکن جاذب) و در سه فاصله طولی ۳،۵ و ۷ ارائه شده است.

به منظور ارائه الگوی مناسب جهت طرح آبشکن در جداول (۱) تا (۱۲) مقایسه کمی پایداری آبشکن در وضعیت‌های مختلف آورده شده است.

شیب کانال اصلی (S_m)، عرض کانال اصلی (B)، شعاع قوس (R)، زاویه مرکزی محل استقرار آبشکن در قوس (Φ)، زاویه آبشکن (θ)، فاصله طولی آبشکنها (L_s)، طول آبشکن (b)، تعداد ردیف‌های ریپ‌رپ (n)، قطر ریپ‌رپ (d_R)، ضخامت ریپ‌رپ (T)

۲- خصوصیات مربوط به جریان

دبی جریان در بالادست آبشکن (Q)، عمق جریان در کانال اصلی (h_o)، شتاب ثقل (g)، شتاب ثقلی نسبی (g')

۳- خصوصیات مربوط به سیال

جرم واحد حجم مایع (ρ)، لزجت دینامیکی (μ)

۴- خصوصیات مواد رسوبی

قطر متوسط ذرات رسوبی (d_s)، چگالی رسوبات (ρ_s)، چگالی ریپ‌رپ (ρ_R)، انحراف معیار رسوبات

$$\left(\sigma = \left(\frac{d_{84}}{d_{16}}\right)^{0.5}\right)$$

قطر ریپ‌رپ (d_R)

۵- متوسط سرعت مقطع عرضی در محیط رسوبی (V_i)

۶- متوسط سرعت مقطع عرضی در شکست ریپ-رپ (V_{if})

بر اساس آنالیز ابعادی به روش π باکینگهام نتیجه می‌شود:

(۶)

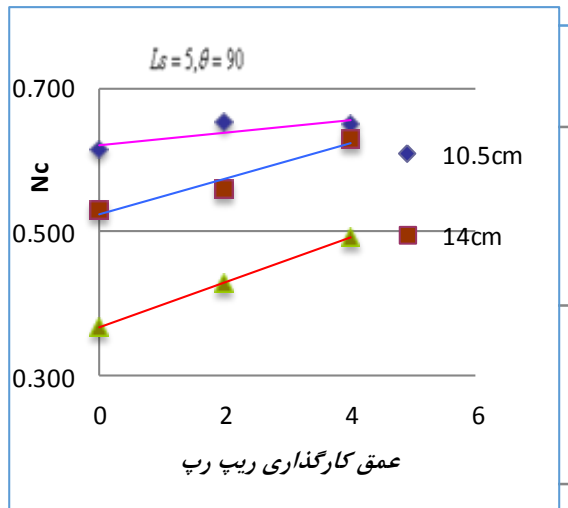
$$f\left(B, b, R, \theta, d_{50}, d_R, \rho_s, \rho, \rho_R, T, h_o, V_i, V_{if}, v, g, G_s, \sigma\right) = 0$$

اگر سه پارامتر عمق جریان (h_o)، سرعت جریان (V_i) و جرم واحد حجم سیال (ρ) به عنوان پارامترهای تکراری انتخاب شوند لذا می‌توان نوشت:

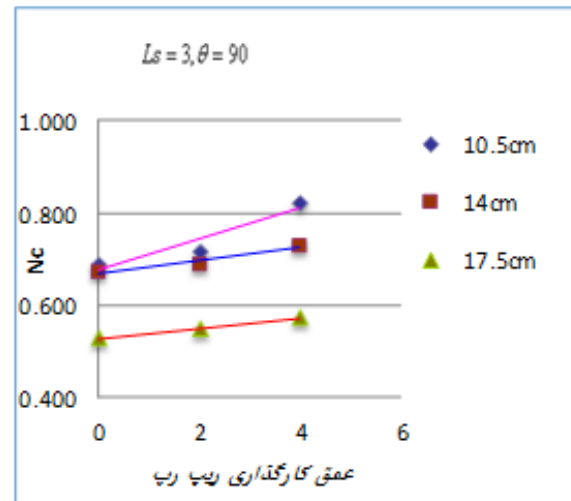
(۷)

$$f\left(\frac{d_R}{h_o}, \frac{b}{B}, \theta, \frac{T}{D_{50}}, \frac{L_s}{h_o}, \frac{V_i}{\sqrt{gh_o}}, \frac{v}{V_i h_o}, \frac{V_i}{V_{if}}, \frac{\rho}{\rho_R}, G_s\right) = 0$$

پارامترهای شماره ۶ و ۷ در معادله فوق به ترتیب عدد فرود و رینولدز می‌باشند که با توجه به شرایط



شکل ۲. تغییرات عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه و $L_s = 5$



شکل ۱. تغییرات عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه و $L_s = 3$

جدول ۳. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول مشخص برای عمق‌های کارگذاری‌های مختلف، زاویه ۹۰ درجه و

$$L_s = 5$$

طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در طول مشخص در شرایط عمق‌های کارگذاری‌های مختلف			
	$0-2D_{50}$	$0-4D_{50}$	$2D_{50}-4D_{50}$	
۱۰/۵	۶/۳۶	۵/۷۱	۰/۶۱	
۱۴	۵/۸۶	۱۸/۷۱	۱۲/۱۴	
۱۷/۵	۱۶/۶۲	۳۴/۰۶	۱۴/۹۵	

جدول ۴. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص برای طول‌های مختلف، زاویه ۹۰ درجه و

$$L_s = 5$$

طول‌های مختلف کارگذاری برای طول‌های مختلف	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۰/۵-۱۴(Cm)		-۱۴	-۱۴
		۱۰/۵(Cm)	۱۰/۵(Cm)
	۱۳/۷۰۳	۱۴/۱۱	۳/۰۹
۱۴-۱۷/۵(Cm)		-۱۷/۵	-۱۷/۵
		۱۴(Cm)	۱۴(Cm)
	۳۰/۶۲	۲۳/۵۷	۲۱/۶۶
۱۰/۵-۱۷/۵(Cm)		-۱۷/۵	-۱۷/۵
		۱۰/۵(Cm)	۱۰/۵(Cm)
	۴۰/۱۳	۳۴/۳۶	۲۴/۰۷

جدول ۱. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول مشخص برای عمق‌های کارگذاری‌های مختلف و زاویه ۹۰ درجه و

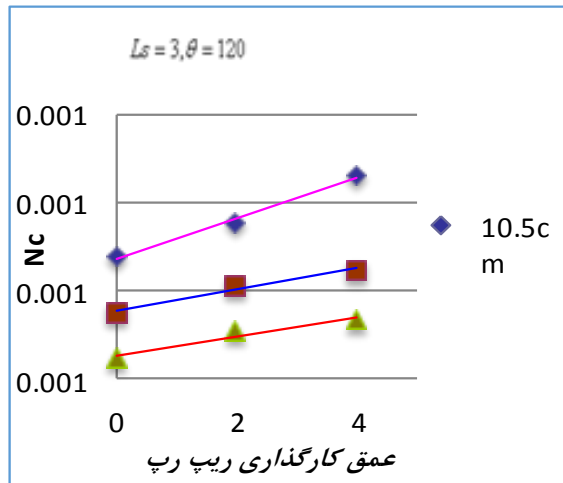
$$L_s = 3$$

طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در طول مشخص در شرایط عمق‌های کارگذاری‌های مختلف			
	$0-2D_{50}$	$0-4D_{50}$	$2D_{50}-4D_{50}$	
۱۰/۵	۴/۱۷	۱۹/۷۴	۱۴/۷۴	
۱۴	۲/۰۷	۸/۴۴	۶/۲۴	
۱۷/۵	۳/۷۸	۸/۵۱	۴/۵۵	

جدول ۲. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص برای طول‌های مختلف در زاویه ۹۰ درجه و

$$L_s = 3$$

طول‌های مختلف کارگذاری برای طول‌های مختلف	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۰/۵-۱۴(Cm)		۱۰/۵-۱۴(Cm)	۱۰/۵-۱۴(Cm)
		۲/۰۳۲	۴/۱۷
		۱۱/۲۷	۱۱/۲۷
۱۴-۱۷/۵(Cm)		۱۴-۱۷/۵(Cm)	۱۴-۱۷/۵(Cm)
		۲۱/۶۳	۲۰/۳۲
		۱۱/۵۸	۱۱/۵۸
۱۰/۵-۱۷/۵(Cm)		۱۰/۵-۱۷/۵(Cm)	۱۰/۵-۱۷/۵(Cm)
		۲۳/۲۲	۲۳/۶۴
		۳۰/۴۲	۳۰/۴۲



شکل ۴. تغییرات عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در

زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و $L_s = 3$

جدول ۷. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول مشخص در حالت عمق‌های کارگذاری‌های مختلف، زاویه ۱۲۰

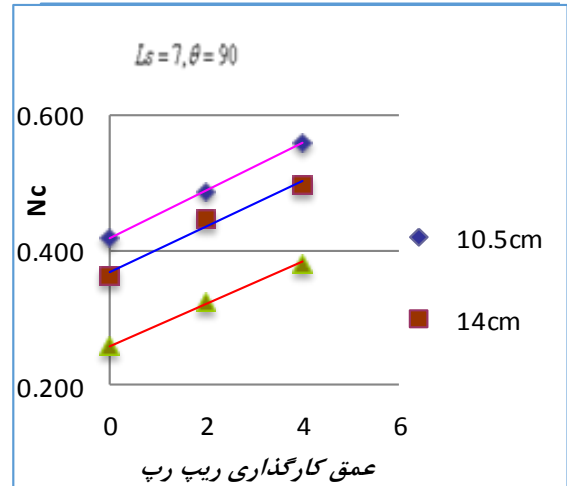
درجه و $L_s = 3$

طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در طول مشخص در شرایط عمق‌های کارگذاری‌های مختلف		
	$0 - 2D_{50}$	$0 - 4D_{50}$	$2D_{50} - 4D_{50}$
۱۰/۵	۹/۳۶	۲۳/۵۹	۱۳/۰۱
۱۴	۸/۹۰	۱۴/۸۸	۵/۴۹
۱۷/۵	۱۰/۹۱	۱۴/۵۵	۳/۲۸

جدول ۸. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص در حالت طول‌های مختلف، زاویه ۱۲۰

درجه و $L_s = 3$

طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول‌های مختلف		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۰/۵-۱۴(Cm)	-۱۴	-۱۴	-۱۴
۱۶/۴۱	۱۰/۵(Cm)	۱۰/۵(Cm)	۲۲/۳
۱۴-۱۷/۵(Cm)	-۱۷/۵	-۱۷/۵	-۱۷/۵
۱۵/۶۴	۱۴(Cm)	۱۴(Cm)	۱۵/۸۹
۱۰/۵-۱۷/۵(Cm)	-۱۷/۵	-۱۷/۵	-۱۷/۵
۲۹/۴۹	۱۰/۵(Cm)	۱۰/۵(Cm)	۳۴/۶۵



شکل ۳. تغییرات عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در

زاویه ثابت ۹۰ درجه و $L_s = 7$

جدول ۵: مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول مشخص برای عمق‌های کارگذاری‌های مختلف، زاویه ۹۰ درجه و

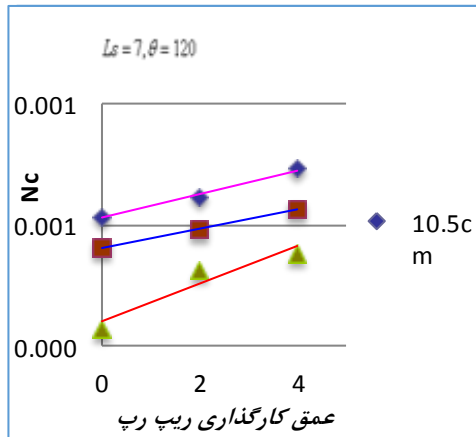
$L_s = 7$

طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در طول مشخص در شرایط عمق‌های کارگذاری‌های مختلف		
	$0 - 2D_{50}$	$0 - 4D_{50}$	$2D_{50} - 4D_{50}$
۱۰/۵	۱۶/۲۷	۳۳/۷۳	۱۵/۰۲
۱۴	۲۳/۸۲	۳۷/۶۷	۱۱/۱۹
۱۷/۵	۲۶/۹۵	۴۸/۸۳	۱۷/۲۳

جدول ۶. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص در حالت طول‌های مختلف، زاویه ۹۰ درجه و

$L_s = 7$

طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول‌های مختلف		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۰/۵-۱۴(Cm)	-۱۴	-۱۴	-۱۴
۱۳/۶۳۶	۱۰/۵(Cm)	۱۰/۵(Cm)	۱۱/۰۹
۱۴-۱۷/۵(Cm)	-۱۷/۵	-۱۷/۵	-۱۷/۵
۲۹/۰۹	۱۴(Cm)	۱۴(Cm)	۲۳/۳۴
۱۰/۵-۱۷/۵(Cm)	-۱۷/۵	-۱۷/۵	-۱۷/۵
۳۸/۷۶	۱۰/۵(Cm)	۱۰/۵(Cm)	۳۱/۸۴



شکل ۶. تغییرات عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در

$L_s = 7$ زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و

جدول ۱۱. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول مشخص در حالت عمق‌های کارگذاری‌های مختلف، زاویه ۱۲۰

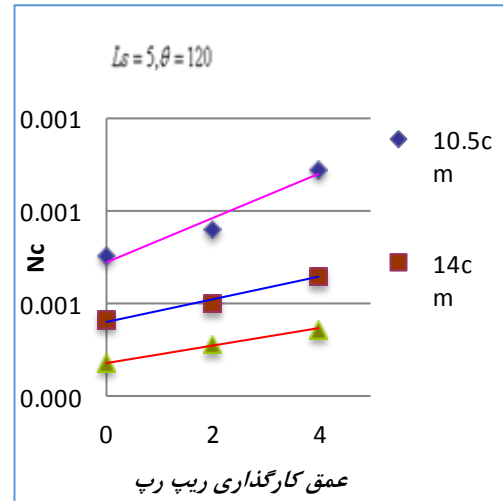
$L_s = 7$ درجه و

طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در طول مشخص در شرایط عمق‌های کارگذاری‌های مختلف		
	$0 - 2D_{50}$	$0 - 4D_{50}$	$2D_{50} - 4D_{50}$
۱۰/۵	۶/۴۳	۱۵/۵۹	۸/۶۱
۱۴	۶/۹۴	۱۴/۱۰	۶/۶۹
۱۷/۵	۳۰/۳۷	۳۸/۳۴	۶/۱۲

جدول ۱۲. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص در حالت طول‌های مختلف، زاویه ۱۲۰ درجه و

$L_s = 7$

کارگذاری برای طول‌های مختلف	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق	
	$T = 0$	$T = 4D_{50}$
$10.5-14(Cm)$	-۱۴	-۱۴
	$10.5(Cm)$	$10.5(Cm)$
	۱۰/۱۳	۱۱/۳
$14-17.5(Cm)$	-۱۷/۵	-۱۷/۵
	$14(Cm)$	$14(Cm)$
	۲۹/۲۸	۱۴/۲۶
$10.5-17.5(Cm)$	-۱۷/۵	-۱۷/۵
	$10.5(Cm)$	$10.5(Cm)$
	۳۶/۴۵	۲۳/۹۵



شکل ۵. تغییرات عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در

$L_s = 5$ زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و

جدول ۹. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول مشخص در حالت عمق‌های کارگذاری‌های مختلف، زاویه ۱۲۰

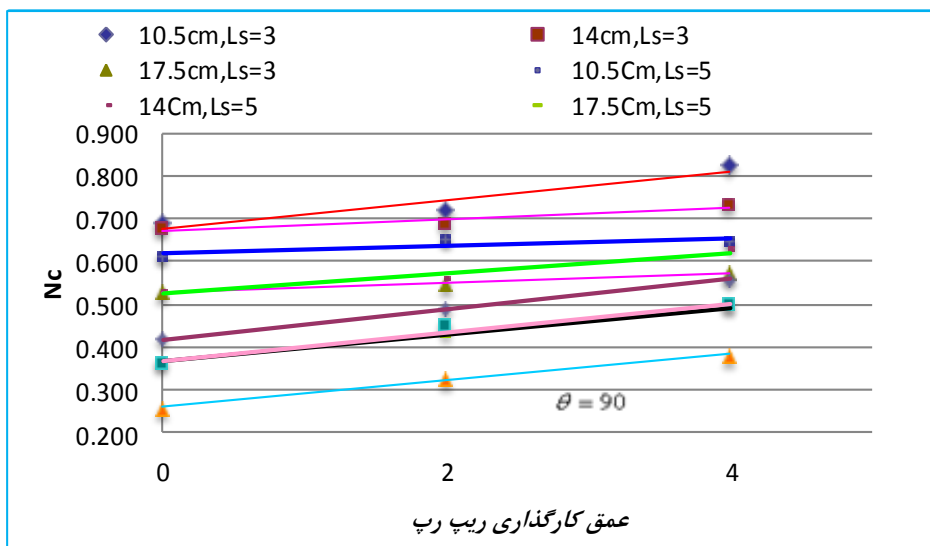
$L_s = 5$ درجه و

طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در طول مشخص در شرایط عمق‌های کارگذاری‌های مختلف		
	$0 - 2D_{50}$	$0 - 4D_{50}$	$2D_{50} - 4D_{50}$
۱۰/۵	۸/۷۱	۲۷/۲۹	۱۷/۰۸
۱۴	۶/۷۶	۱۷/۰۸	۹/۶۷
۱۷/۵	۸/۳	۱۵/۳۲	۶/۴۸

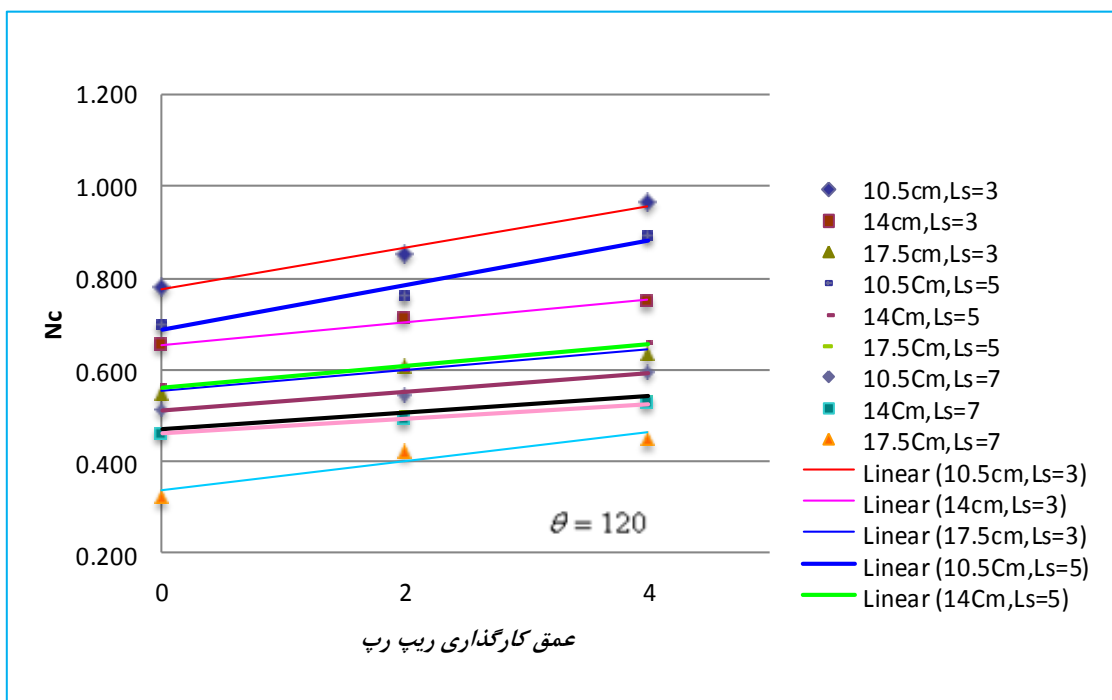
جدول ۱۰. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص در حالت طول‌های مختلف، زاویه ۱۲۰ درجه و

$L_s = 5$

طول‌های مختلف	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای	
	$T = 0$	$T = 4D_{50}$
$10.5-14(Cm)$	$10.5-14(Cm)$	$10.5-14(Cm)$
	۱۹/۷۱	۲۱/۱۶
$14-17.5(Cm)$	$14-17.5(Cm)$	$14-17.5(Cm)$
	۱۶/۳۷	۱۵/۱۷
$10.5-17.5(Cm)$	$10.5-17.5(Cm)$	$10.5-17.5(Cm)$
	۳۲/۸۶	۳۳/۱۱



شکل ۷. تغییرات عدد پایداری برای طول‌ها و فواصل طولی مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه



شکل ۸. تغییرات عدد پایداری برای طول‌ها و فواصل طولی مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۱۲۰ درجه

نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد، در حالتی که کارگذاری ریپرپ‌ها در عمق‌های بیشتر در میزان پایداری تأثیری کمتری از ده درصد داشته است می‌توان از استفاده از بکارگیری ریپرپ در عمق بیشتر صرف نظر نمود. این حالت در اغلب موارد مخصوصاً طول‌های کوچکتر آبشکن‌ها برای حالت کارگذاری ریپرپ بر روی سطح و استفاده از آن در عمق $2D_{50}$ مشاهده می‌شود. بررسی داده‌های مربوط به درصد تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص در شرایط طول‌های مختلف آبشکن نشان می‌دهد در یک عمق مشخص هر چه طول آبشکن بزرگتر باشد پایداری ریپرپ‌ها و در نتیجه آبشکن‌ها کمتر می‌باشد. مشابه حالت قبل با افزایش در فاصله بین آبشکن‌ها، درصد تغییرات نیز معنی‌دارتر بوده و استفاده از طول بزرگتر موجب پایداری کمتر آبشکن‌ها می‌گردد.

نکته مهم در این بخش جهت ارائه یک الگوی مناسب آبشکن، اقتصادی بودن طرح پیشنهادی می‌باشد که باید بسیار مورد توجه قرار گیرد. در طرح محافظت یک قوس توسط آبشکن باید تمامی قوس محافظت گردد لذا استفاده از طول‌های کوچکتر آبشکن در فواصل کمتر اگر چه موجب محافظت بهتر آبشکن‌ها و در نتیجه سواحل می‌گردد ولی باید توجه داشت که هزینه‌های محافظت ممکن است چندین برابر شود.

بررسی پایداری ریپرپ در عمق‌های کارگذاری

مختلف در فاصله‌های طولی متفاوت قرار گیری

آبشکن‌ها

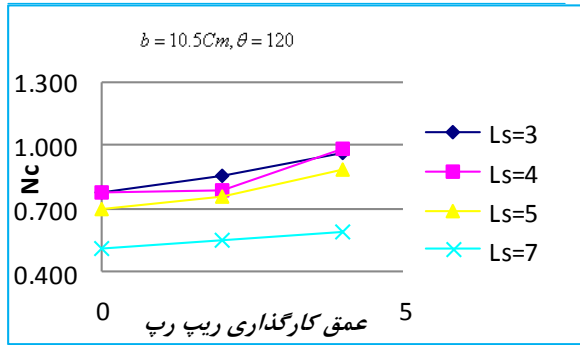
به منظور بررسی پایداری ریپرپ در عمق‌های کارگذاری مختلف، اقدام به انجام آزمایش‌هایی در طول‌های مختلف صورت گرفت. بدین منظور از سه طول آبشکن $10/5$ ، 14 و $17/5$ سانتیمتر، در سه فاصله طولی مختلف 3 ، 5 و 7 در دو زاویه 90 و 120 درجه استفاده گردید.

در بررسی اشکال (۱) تا (۸) دو نتیجه کلی مشاهده می‌شود: ۱- در کلیه حالات افزایش در عمق کارگذاری ریپرپ‌ها موجب پایداری آنها، پایداری آبشکن‌ها و در نتیجه محافظت بهتر از سواحل می‌گردد.

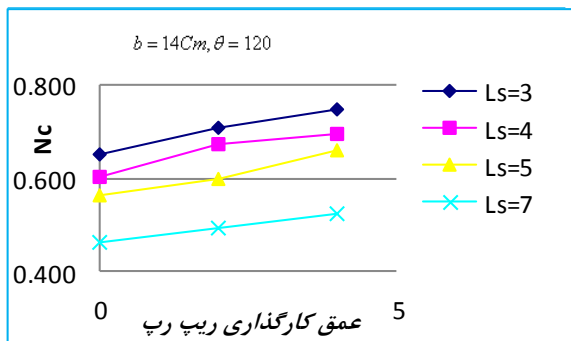
۲- پایداری ریپرپ‌ها و در نتیجه پایداری آبشکن‌ها با افزایش طول آبشکن‌ها، کاهش پیدا می‌کند.

همانگونه که بیان گردید به منظور ارائه یک الگوی مناسب جهت انتخاب طرح آبشکن مناسب جدول مقایسه کمی برای وضعیت‌های مختلف در یک آبشکن نشان داده شده است. پس از هر شکل دو جدول آورده شده است جداول با شماره (۹،۷،۵،۳،۱،۱۱) مربوط به مقایسه میان میزان درصد تغییرات در پایداری ریپرپ‌ها در حالت استفاده از ریپرپ در عمق‌های مختلف برای یک طول ثابت می‌باشد. با توجه به پایداری ریپرپ‌ها در عمق بیشتر لذا اعداد ارائه شده در جداول نوع اول به مفهوم افزایش در درصد پایداری ریپرپ‌ها در هر حالت مقایسه‌ای می‌باشد.

همچنین جداول با شماره (۲،۱۲،۱۰،۸،۶،۴) مربوط به مقایسه درصد تغییرات میزان پایداری در یک عمق مشخص برای طول‌های مختلف یک آبشکن می‌باشد. بررسی داده‌های مربوط به درصد تغییرات در میزان پایداری برای عمق‌های کارگذاری مختلف در حالت استفاده از یک طول مشخص آبشکن نشان می‌دهد که در اغلب حالات، استفاده از ریپرپ در عمق‌های کارگذاری بیشتر، بر روی طول‌های بزرگتر آبشکن موثرتر بوده و اثر معنی‌دارتری داشته است. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد هر چه فاصله استقرار آبشکن‌ها از یکدیگر بیشتر باشد استفاده از عمق‌های بیشتر برای ریپرپ‌ها نتیجه رضایت بخش‌تری دارد. نظر به اینکه افزایش در طول آبشکن‌ها موجب کاهش پایداری در ریپرپ‌ها می‌شود لذا اعداد ارائه شده در جداول نوع دوم به مفهوم درصد کاهش در میزان پایداری می‌باشد.



شکل ۱۲. تغییرات عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و طول ۱۰/۵ سانتی‌متر



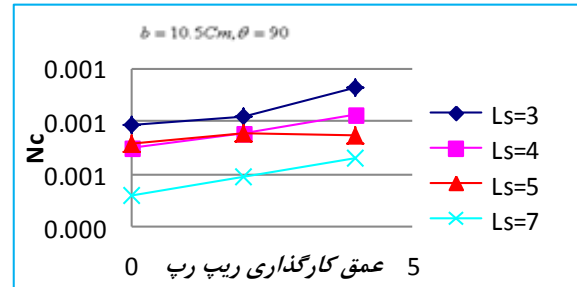
شکل ۱۳. تغییرات عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و طول ۱۴ سانتی‌متر

جدول ۱۳. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۰/۵ سانتی‌متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۹۰ درجه

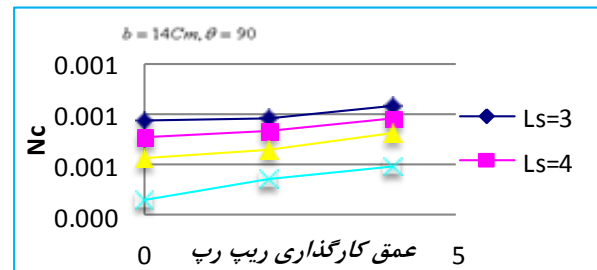
طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای فواصل طولی مختلف - زاویه ۹۰ درجه		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۰/۵	LS=۳-۵	LS=۳-۵	LS=۳-۵
	۱۱/۰۳	۹/۳۲	۲۱/۴۵
	LS=۵-۷	LS=۵-۷	LS=۵-۷
	۳۱/۸۱	۲۵/۴۶	۱۳/۷۳
	LS=۳-۷	LS=۳-۷	LS=۳-۷
	۳۹/۳۳	۳۲/۴۱	۱۳/۷۳

جدول ۱۴. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۴ سانتی‌متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۹۰ درجه

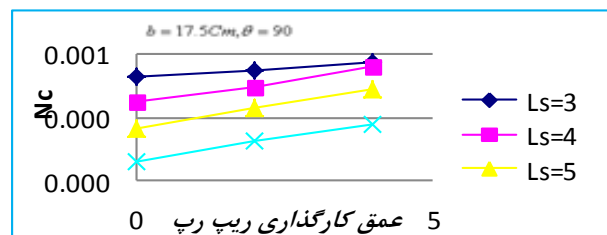
در شکل‌های (۹) تا (۱۱) وضعیت پایداری ریپرپ برای طول‌های مختلف، در سه فاصله قرارگیری و زاویه ۹۰ درجه و در شکل‌های (۱۲) تا (۱۴) وضعیت پایداری ریپرپ برای طول‌های مختلف، در سه فاصله قرارگیری و زاویه ۱۲۰ درجه مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۹. تغییرات عدد پایداری برای فواصل مختلف قرارگیری آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه و طول ۱۰/۵ سانتی‌متر



شکل ۱۰. تغییرات عدد پایداری برای فواصل مختلف قرارگیری آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه و طول ۱۴ سانتی‌متر



شکل ۱۱. تغییرات عدد پایداری برای فواصل مختلف قرارگیری آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه و طول ۱۷/۵ سانتی‌متر

درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق

کارگذاری برای فواصل طولی مختلف-زاویه طول

آبشکن (Cm) ۱۲۰ درجه

طول	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۰/۵	LS=۳-۵	LS=۳-۵	LS=۳-۵
	۱۰/۲۵۶	۱۰/۷۹	7.57
	LS=۷-۵	LS=۵-۷	LS=۵-۷
۱۴	۲۶/۷۱	۲۸/۲۵	۳۳/۴۵
	LS=۳-۷	LS=۳-۷	LS=۳-۷
	۳۴/۲۳	۳۵/۹۹	۳۳/۴۵

جدول ۱۷. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۴ سانتی متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۱۲۰ درجه

درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق

کارگذاری برای طول های مختلف-زاویه طول

آبشکن (Cm) ۱۲۰ درجه

طول	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۴	LS=۳-۵	LS=۳-۵	LS=۳-۵
	۱۳/۸	۱۵/۴۹	۱۲/۱۵
	LS=۷-۵	LS=۵-۷	LS=۵-۷
۱۷/۵	۱۷/۹۷	۱۷/۸۳	۲۰/۰۶
	LS=۳-۷	LS=۳-۷	LS=۳-۷
	۲۹/۲۹	۳۰/۵۶	۲۹/۷۷

جدول ۱۸. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۷/۵ سانتی متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۱۲۰ درجه

درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق

کارگذاری برای طول های مختلف-زاویه طول

آبشکن (Cm) ۱۲۰ درجه

طول	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۷/۵	LS=۳-۵	LS=۳-۵	LS=۳-۵
	۱۴/۵۴	۱۶/۵۶	۱۳/۹۷
	LS=۷-۵	LS=۵-۷	LS=۵-۷
۱۴	۳۰/۶۴	۱۶/۵	۱۶/۷۹
	LS=۳-۷	LS=۳-۷	LS=۳-۷
	۴۰/۷۳	۳۰/۳۳	۲۸/۴۱

درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق

کارگذاری برای طول های مختلف - زاویه ۹۰ درجه

آبشکن (Cm) ۱۴

طول	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۴	LS=۳-۵	LS=۳-۵	LS=۳-۵
	۲۱/۶۳	۱۸/۷۲	۱۴/۲۱
	LS=۵-۷	LS=۵-۷	LS=۵-۷
۱۷/۵	۳۱/۷۶	۲۰/۱۸	۲۰/۸۶
	LS=۳-۷	LS=۳-۷	LS=۳-۷
	۴۶/۵۲	۳۵/۱۲	۳۲/۱۰

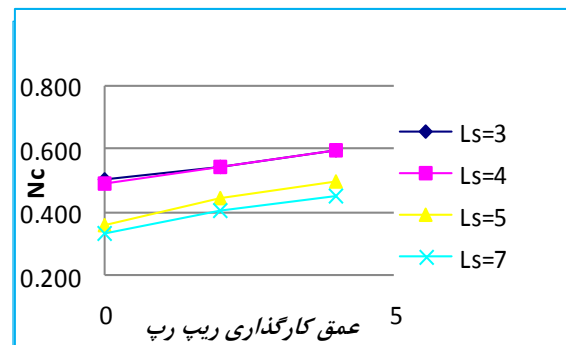
جدول ۱۵. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۷/۵ سانتی متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۹۰ درجه

درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق

کارگذاری برای طول های مختلف-زاویه طول

آبشکن (Cm) ۹۰ درجه

طول	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۷/۵	LS=۳-۵	LS=۳-۵	LS=۳-۵
	۳۰/۶۲	۲۲/۰۴	۱۴/۲۹
	LS=۵-۷	LS=۵-۷	LS=۵-۷
۱۴	۳۰/۲۵	۲۴/۰۷	۲۲/۵۶
	LS=۳-۷	LS=۳-۷	LS=۳-۷
	۵۱/۶۱	۴۰/۸۰	۳۳/۶۲



شکل ۱۴. تغییرات عدد پایداری برای طول های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و طول ۱۷/۵ سانتی متر

جدول ۱۶. مقایسه کمی تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۰/۵ سانتی متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۱۲۰ درجه

مسیر جریان مقادیر ثابتی نداشته و علاوه بر طبیعت و هندسه قوس به عواملی نظیر شیب جانبی سطح آب و جریان گردابی ثانویه ایجاد شده در قوس دارد. در بخش اول نتایج این تحقیق به اثر طول آبشکن اشاره گردید مشاهده آزمایشگاهی تحقیق حاضر نشان می‌دهد با تغییر طول آبشکن پارامترهایی نظیر ابعاد ناحیه جدایی جریان، میزان انحراف ایجاد شده در جریان و تنش برشی بستر در اطراف آبشکن تغییر می‌کند.

با افزایش طول آبشکن محدوده بیشتری از جریان تحت تأثیر آبشکن قرار می‌گیرد زیرا با افزایش طول آبشکن درصد تنگ شدگی مقطع افزایش می‌یابد. به دنبال این افزایش مقدار اختلاف سرعت و در نتیجه اختلاف فشار در بالادست و پایین دست مقطع تنگ شده افزایش می‌یابد و این موجب توسعه ابعاد گردابه خواهد شد. با بیان این مطالب عدم پایداری ریپرپ‌ها و در نتیجه آبشکن در طول‌های بیشتر آبشکن‌ها قابل توجیه می‌باشد.

در بخش دوم نتایج این تحقیق به اثر فاصله قرارگیری آبشکن اشاره گردید مشاهده آزمایشگاهی تحقیق حاضر نشان می‌دهد با نزدیک شدن جریان به آبشکن بخشی از آن به فضای بین آبشکن‌ها وارد می‌شود. الگوی جریان وارد شده به فضای بین آبشکن‌ها کاملاً به فضای میان آبشکن‌ها بستگی دارد. هنگامی که فاصله بین دو آبشکن‌ها کم باشد در ترازهای مختلف عمقی تنها یک گردابه ایجاد می‌شود این گردابه حاصل جریان پایین رونده در بالادست آبشکن اولی و تبدیل این جریان به جریان بالا رونده در برخورد با آبشکن پایین دست است. به عبارت دیگر در حالت فاصله کم بین دو آبشکن برای توسعه و تکمیل ناحیه جدایی جریان در پایین دست آبشکن اول قبل از برخورد به آبشکن دوم که فاصله کافی موجود نیست لذا جریان بالارونده در پایین دست آبشکن اول به آبشکن دوم برخورد کرده و به سمت بالادست بر می‌گردد لذا تنها یک گردابه در حد فاصل دو آبشکن در لایه‌های مختلف عمق شکل می‌گیرد. پس

از بررسی شکل‌های (۷) تا (۱۲) دو نتیجه کلی حاصل می‌شود:

۱- در کلیه حالت‌های مورد بررسی، با افزایش عمق کارگذاری ریپرپ‌ها پایداری آنها را افزایش می‌دهد.

۲- افزایش در فاصله قرارگیری آبشکن‌ها موجب کاهش پایداری ریپرپ‌ها می‌گردد.

در این بخش نیز به منظور ارائه یک الگوی مناسب جهت انتخاب طرح آبشکن مناسب جدول مقایسه کمی برای وضعیت‌های مختلف در یک آبشکن نشان داده شده است.

در جداول (۱۳) تا (۱۸) درصد تغییرات در میزان پایداری برای یک طول آبشکن و یک عمق کارگذاری مشخص در فواصل مختلف قرارگیری ارائه شده است. همانگونه که بیان گردید افزایش در فاصله قرارگیری آبشکن‌ها موجب کاهش پایداری می‌گردد لذا اعداد ارائه شده در جدول به منظور میزان درصد کاهش در پایداری ریپرپ‌ها در هر حالت مقایسه‌ای می‌باشد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که در هر طول و عمق کارگذاری مشخص افزایش فاصله طولی میان آبشکن‌ها پایداری آنها را کمتر می‌کند این نرخ تغییرات برای طول‌های بزرگتر آبشکن‌ها و در فواصل بیشتر و همچنین بیشترین عمق کارگذاری معنی دارتر می‌باشد. توجه به اعداد و نتایج ارائه شده در جداول فوق نشان می‌دهد با توجه به اقتصادی بودن طرح اقدام به انتخاب طرح مناسب نمود.

به منظور دستیابی به اهداف تحقیق حاضر که بررسی عمق کارگذاری ریپرپ بر روی پایداری آن بود آزمایش‌هایی صورت پذیرفت در این بخش تفسیر نتایج بدست آمده ارائه شده است. می‌دانیم که الگوی جریان در قوس‌ها و فرسایش ناشی از آن ترکیبی از جریان‌های اصلی، ثانویه و نیز دانه بندی رسوبات می‌باشد. در قوس‌ها سطح آزاد جریان و تراز کف در طول عمود بر

صورت کلی می‌توان مهم‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق را به صورت زیر خلاصه نمود. در کلیه حالات استفاده از طول‌های مختلف آبشکن‌ها در قوس، کارگذاری ریپرپ در عمق بیشتر موجب افزایش پایداری ریپرپ‌ها و در نتیجه پایداری آبشکن‌ها و محافظت سواحل می‌گردد. در آبشکن‌های با طول کوچکتر (تا ۲۰ درصد عرض جریان) استفاده از ریپرپ در عمق معادل $2D_{50}$ با ریپرپ مورد استفاده در سطح بستر هیچ گونه تفاوت معنی داری در پایداری ریپرپ ندارد. با افزایش طول آبشکن، پایداری ریپرپ‌ها و نیز آبشکن‌ها کاهش می‌یابد. با افزایش در فاصله قرارگیری آبشکن‌ها، پایداری ریپرپ و آبشکن‌ها کاهش پیدا می‌کند. کارگذاری ریپرپ‌ها در عمق بیشتر اغلب برای آبشکن‌های با طول و فاصله کارگذاری بیشتر بر روی پایداری ریپرپ‌ها اثر معنی داری دارد.

قدردانی

در پایان نویسندگان از دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت امکان استفاده از شرایط آزمایشگاهی کمال قدردانی را دارد.

منابع

Cardoso, A. H., and Cristina, M. S., 2009. Protecting Vertical-Wall Abutments with Riprap Mattresses. *J. Hyd. Eng.*, 135(6):. 457-465.

Chiew, Y. M., 1995. Mechanics of riprap failure at bridge piers. *J. Hyd. Eng.*, 121(9), 635-643.

Dey, S., Chiew, Y. M., and Kadam, M. S., 2008. Local Scour and Riprap Stability at an Abutment in a Degrading Bed. *J. Hyd. Eng.* 134(10):. 1496-1502.

Gisonni, C., and Hager, W. H., 2008. Spur Failure in River Engineering. *J. Hyd. Eng.*, 134(2), 135-145.

می‌توان گفت در فواصل کم قرارگیری آبشکن‌ها، جریان اصلی ورودی از بالادست از محدوده تأثیر آبشکن منحرف شده و به محدوده آبشکن‌ها وارد نمی‌شود و تنها یک جریان چرخشی ایجاد می‌شود. با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها در محدوده بین دو آبشکن دو گردابه بوجود می‌آید گردابه اول در پایین دست آبشکن اول ناشی از جدایی جریان در برخورد با آبشکن اول و گردابه دوم در بالادست آبشکن دوم بدلیل برخورد جریان ورودی به آبشکن دوم تشکیل می‌شود بدیهی است که توسعه و تکمیل گردابه پایین دست آبشکن اول نیازمند فاصله کافی با آبشکن دوم است. با توجه به مطالب ارائه شده در خصوص وضعیت الگوی جریان در حالت استقرارهای مختلف آبشکن‌ها می‌توان به علت پایداری کمتر ریپرپ و در نتیجه آبشکن در اثر فاصله قرارگیری بیشتر دست پیدا نمود.

۴. بحث و نتیجه گیری

هدف از این مقاله بررسی تأثیر عمق کارگذاری ریپرپ جهت محافظت از آبشکن در قوس ۹۰ درجه می‌باشد. بدین منظور اقدام به آزمایش‌هایی در فلوم دارای قوس ملایم ۹۰ درجه به طول ۱۱ متر صورت پذیرفت. به

Hager, W. H., and Oliveto, G. 2002. Shields' entrainment criterion in bridge piers. *J. Hyd. Eng.*, 128(5):. 538-542.

Lagasse, P. F., Zevenbergen, L. W., Schall, J. D., and Cooper, P. E. 2001. Bridge scour and stream instability countermeasures. Rep. No. FHWA-NH1-01-003, Hydraulic Engineering Circular N° 23(HEC-23), 2nd Ed., Office of Bridge Technology, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

Lauchlan, C. S., and Melville, B. 2001. Riprap Protection at Bridge Piers. *J. Hyd. Eng.*, 127(5):. 412-418

Melville, B., Ballegooy, S., Coleman, S., and Barkdoll, B 2007. Riprap size selection at wing-wall abutments. J. Hyd. Eng.,133(11): 1265–1269.

Morales, R., Etemma, R., and Barkdoll, B 2008. Riprap size selection at wing-wall abutments . J. Hyd. Eng. 134(6): 800–809.

Laboratory investigation on the effect of depth-placed riprap on its stability for protection of Spur Dike in 90° Bend in order to using in navigable Rivers and Gulfs

Morteza Bakhtiari^{1*}, Seyyed Mahmoud Kashefipour², Mehdi Ghomeshi²

1. Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology

2. Faculty of Water Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

Abstract:

One of the applications of spur dikes is to ensure navigability of rivers through the regulation and stabilization of sufficient width and depth, balance changes for the development of depth and the radius of curvature. Nowadays, spurs are also employed to promote environmental conditions along riverbanks. One of the important and less appreciated issues pertaining to spurs is the protection they provide against scouring. A simple and economic way spurs provide protection against scouring is the use of ripraps. Ripraps are very commonly used because they are convenient, cheap and simple to construct.

This study focused on the effect of riprap implementation depth on their stability in protecting spur dikes in bends. To achieve the research objectives, special ripraps with a diameter of 1Cm were placed in 3 depths ($Y/D_{50} = 0,2,4$), and used for 3 spur lengths (15%,20% and 25% flume width), in two angles (90 and 120 degree) and three longitudinal distances (3,5 and 7 times of the spur length).

The results of this study indicate that in all the experimented cases, the application of depth-placed ripraps increases the riprap's stability. Thus, the stability of ripraps increased with an increase in depth-placed ripraps and the angle of the spurs, whereas an increase in spur length and longitudinal distance decreased the stability of the ripraps.

Keyword: spur dike, riprap stability, bend, costal stability, navigation

Figure 1. Change of stability number for different spur dike lengths at fixed angle 90 degree and $L_s = 3$

Figure 2. Change of stability number for different spur dike lengths at fixed angle 90 degree and $L_s = 5$

Figure 3. Change of stability number for different spur dike lengths at fixed angle 90 degree and $L_s = 7$

Figure 4. Change of stability number for different spur dike lengths at fixed angle 120 degree and $L_s = 3$

Figure 5. Change of stability number for different spur dike lengths at fixed angle 120 degree and $L_s = 5$

Figure 6. Change of stability number for different spur dike lengths at fixed angle 90 degree and $L_s = 7$

Figure 7. Change of stability number for different spur dike lengths and distance at fixed angle 90 degree

Figure 8. Change of stability number for different spur dike lengths and distance at fixed angle 120 degree

Figure 9. Change of stability number for different spur dike distance at fixed angle 90 degree and length 10.5 cm.

*Corresponding author, E-mail: mortezabakhtiari@yahoo.com

Figure 10. Change of stability number for different spur dike distance at fixed angle 90 degree and length 14 cm.

Figure 11. Change of stability number for different spur dike distance at fixed angle 90 degree and length 17.5 cm.

Figure 12. Change of stability number for different spur dike length at fixed angle 120 degree and length 10.5 cm.

Figure 13. Change of stability number for different spur dike length at fixed angle 120 degree and length 14 cm.

Figure 14. Change of stability number for different spur dike length at fixed angle 120 degree and length 17.5 cm.

Table 1. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed length for different depth-placed at 90 degree angle and $L_s = 3$

Table 2. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed depth-placed for different length at 90 degree angle and $L_s = 3$

Table 3. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed length for different depth-placed at 90 degree angle and $L_s = 5$

Table 4. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed depth-placed for different length at 90 degree angle and $L_s = 5$

Table 5. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed length for different depth-placed at 90 degree angle and $L_s = 7$

Table 6. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed depth-placed for different length at 90 degree angle and $L_s = 7$

Table 7. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed length for different depth-placed at 120 degree angle and $L_s = 3$

Table 8. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed depth-placed for different length at 120 degree angle and $L_s = 3$

Table 9. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed length for different depth-placed at 120 degree angle and $L_s = 5$

Table 10. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed depth-placed for different length at 120 degree angle and $L_s = 5$

Table 11. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed length for different depth-placed at 120 degree angle and $L_s = 7$

Table 12. Quantitative comparison of changes in the stability number at fixed depth-placed for different length at 120 degree angle and $L_s = 7$

Table 13. Quantitative comparison of changes in the stability number at length 10.5cm and fixed depth-place for different distance at 90 degree

Table 14. Quantitative comparison of changes in the stability number at length 14cm and fixed depth-place for different distance at 90 degree

Table 15. Quantitative comparison of changes in the stability number at length 17.5cm and fixed depth-place for different distance at 90 degree

Table 16. Quantitative comparison of changes in the stability number at length 10.5cm and fixed depth-place for different distance at 120 degree

Table 17. Quantitative comparison of changes in the stability number at length 14cm and fixed depth-place for different distance at 120 degree

Table 18. Quantitative comparison of changes in the stability number at length 17.5cm and fixed depth-place for different distance at 120 degree