

ارائه معیار برای طراحی ریپرپ جهت استفاده در طرح‌های حفاظت سواحل قوسی شکل

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

چکیده

فرسایش و رسوبگذاری از جمله مسائل با اهمیت در خصوص سواحل می‌باشند که همواره مورد توجه مهندسين رودخانه، سواحل و سازه‌های دریایی بوده است. یکی از ساده‌ترین و در عین حال اقتصادی‌ترین روشها، استفاده از ریپرپ می‌باشد که به دلیل در دسترس بودن مصالح، سادگی اجرا و هزینه‌های کم بسیار متداول است. ریپرپ به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم برای حفاظت سواحل از فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله کاربرد غیر مستقیم ریپرپ، استفاده به صورت محافظ آبشکن به عنوان یک روش سازه‌ای حفاظت سواحل می‌باشد یکی از موارد مهم در مورد ریپرپ‌ها ارائه معیار برای طراحی و انتخاب آنها می‌باشد که کمتر مورد بررسی قرار گرفته است و تحقیقات انجام شده بیشتر برای مسیرهای مستقیم بوده در حالیکه به دلیل ماهیت جریان وقوع پدیده فرسایش در مسیرهای قوسی شکل بیشتر می‌باشد. در این تحقیق هدف، ارائه معیار برای طراحی ریپرپ جهت محافظت از آبشکن‌ها در قوس‌ها می‌باشد. به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، در شرایط آزمایشگاه برای یک نوع ریپرپ با قطر $(\frac{3}{8})$ اینچ، طول‌ها، فواصل و زوایای مختلف آبشکن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق ارائه روابطی بر اساس پارامترهای مختلف برای طراحی پایدار ریپرپ می‌باشد. همچنین در بخشی دیگر از تحقیق حاضر کارآیی روابط ارائه شده برای مسیرهای مستقیم توسط سایر محققین برای شرایط استفاده در قوس‌ها ارزیابی گردید. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد برای طراحی ریپرپ روابط حاصل از طراحی ریپرپ توسط پاگان-ارتیز و لاگاس و همکاران می‌تواند برای طراحی ریپرپ در قوس نیز مورد استفاده قرار گیرند.

واژگان کلیدی: فرسایش، سواحل، ریپرپ، آبشکن، قوس

۱. مقدمه

فرسایش سواحل یکی از موضوعات با اهمیت در مباحث وابسته به علوم مهندسی رودخانه، سواحل می‌باشد که علاوه بر اینکه سالیانه هزینه‌های زیادی به دولت‌ها تحمیل می‌نماید در مواردی جان و مال مردم را به خطر می‌اندازد. استفاده از ریپ‌رپ به دلیل در دسترس بودن مصالح، سادگی اجرا و هزینه‌های کم در طرح‌های حفاظت سواحل 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 and et al (2001) شکست ریپ‌رپ به سه دسته تقسیم شد که شامل فرسایش المانه‌های ریپ‌رپ، فرسایش زیرسطحی و فرسایش توده‌ای می‌باشد. فرسایش المانه‌های 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 المانه‌های 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 المانه‌های ریپ‌رپ و یا مواد بستر تحت تاثیر نیروهای ثقلی لغزیده و یا ریزش کنند. 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.

با توجه به اهمیت و لزوم محافظت از سواحل تا کنون تحقیقات بسیار زیادی در این زمینه صورت گرفته است که در این بخش به مهم‌ترین و جدیدترین آنها اشاره می‌شود.

Chiew (۱۹۹۵) پایداری ریپ‌رپ 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 ریپ‌رپ 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 نتایج این تحقیق می‌توان به تاثیر ضخامت لایه ریپ‌رپ بر روی شکست آن می‌باشد. بر این اساس در صورتیکه لایه ریپ‌رپ ضخیم در نظر گرفته شود، حتی بدون وجود فیلتر نیز می‌توان از تخریب زیرسطحی جلوگیری کرد.

Lauchlan et al (۲۰۰۱) مکانیزم‌های شکست، پایداری و تاثیر قرارگیری ریپ‌رپ در اطراف پایه‌های پل را مورد بررسی قرار دادند. آزمایشات جهت تعیین توانایی سنگ‌های ریپ‌رپ در محافظت از پایه پل تحت شرایط متنوع جریان صورت گرفت تاثیر نحوه قرارگیری ریپ‌رپ در کف بستر رسوبی نیز با شرایطی که ریپ‌رپ هم‌تراز با سطح بستر باشد، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش سرعت جریان، توانایی سنگ‌های ریپ‌رپ جهت محافظت پایه تا زمانیکه عمق آبشستگی در محل لایه ریپ‌رپ به حالت تعادل پایه محافظت نشده برسد، کاهش می‌یابد. همچنین مشخص شد با قرار دادن ریپ‌رپ در اعماق بیشتر، ریپ‌رپ کمتر تحت تاثیر فرم بستر قرار گرفته و بهتر می‌تواند در مقابل آبشستگی موضعی مقاومت کند.

Gisonni (۲۰۰۸) با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی به بررسی تاثیر پارامترهایی از قبیل؛ طول آبشکن، فاصله آبشکن‌ها، ارتفاع آبشکن به همراه قطر و تعداد ردیف‌های ریپ‌رپ و تعدادی از پارامترهای هیدرولیکی بر روی پایداری ریپ‌رپ پرداختند هدف از این تحقیق ارائه معادلاتی جهت تخمین اندازه قطر ریپ‌رپ و تعداد ردیف-

- 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 (۲).
- در این تحقیق هدف ارائه معیاری برای طراحی ریپ‌رپ می‌باشد. برای دستیابی به اهداف تحقیق اقدام به آزمایش‌هایی صورت پذیرفت که در بخش (۲) در این خصوص توضیح ارائه شده است.

۲. مواد و روشها

۲-۱- تجهیزات آزمایشگاهی

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، اقدام به ساخت یک مدل فیزیکی گردید مدل ساخته شده یک فلوم قوسی ۹۰ درجه به طول ۱۱ متر، عرض ۷۰ سانتی‌متر و نسبت شعاع به عرض $\frac{R}{B} = 4$ می‌باشد.

۲-۲- انجام آزمایش‌ها

پارامترهای متغیر در آزمایشات این تحقیق شامل دبی (Q)، طول آبشکن (w)، زاویه آبشکن (θ)، تعداد ردیف‌های ریپ (n)، فاصله طولی آبشکنها (L_s)، عمق کارگذاری ریپ (T) می‌باشد. به منظور انجام آزمایش‌های این تحقیق، ابتدا آبشکن‌ها در موقعیت مورد نظر خود قرار داده گرفت. پس از تعیین این محدوده آبشکن‌ها با ابعاد و زوایا و ارتفاع-های مورد نظر در محدوده فرسایش‌پذیر قوس قرار گرفته و ریپ‌رپ‌های مختلف با آرایش‌های از پیش تعیین شده در اطراف آبشکن‌ها قرار گرفت. 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 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 نیافتاد، عمق جریان را تغییر داده شد. منظور از شکست ریپ رپ در این تحقیق حرکت افقی و یا عمودی نزدیک‌ترین المانها به آبشکن می‌باشد. نظر به اینکه هدف از انجام تحقیق

های 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 ۰/۱۰، 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 دایره‌وار 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.

Cardoso (۲۰۰۹) 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 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:

- قطر ریپ رپ جهت محافظت از دیواره به عدد فرود جریان و نیز نسبت طول دیواره به عمق جریان بستگی دارد، که این نسبت در تحقیقات قبلی در نظر گرفته نشده است؛
- مفهوم شدت جریان بحرانی را می‌توان جهت آستانه فرسایش بکار برد. این محققین معادله‌ای ارائه داده که بر اساس آن با افزایش نسبت طول دیواره به عمق جریان، قطر ریپ رپ نیز افزایش می‌یابد.

۲-۳- آنالیز ابعادی

پارامترهای موثر در این تحقیق عبارتند از:

۱- خصوصیات مربوط به هندسه سیستم
شیب کانال اصلی (S_m)، عرض کانال اصلی (B)، شعاع قوس (R)، زاویه مرکزی محل استقرار آبشکن در قوس (Φ)، زاویه آبشکن (α_s)، فاصله طولی آبشکنها (L_s)، طول آبشکن (b)، تعداد ردیفهای ریپ رپ (n)، قطر ریپ رپ (d_R)، ضخامت ریپ رپ (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 ریپ رپ (ρ_R)، انحراف معیار رسوبات

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

۵- متوسط سرعت مقطع عرضی در محیط رسوبی

$$(V_i)$$

۶- متوسط سرعت مقطع عرضی در شکست

$$(V_{if}) \text{ ریپ رپ}$$

بر اساس آنالیز ابعادی به روش π باکینگهام نتیجه می شود:

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

(۶)

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

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

(۷)

ارائه معیاری برای طراحی ریپ رپ جهت محافظت از سواحل در قوس ۹۰ درجه می باشد لذا از یک نوع ریپ رپ با قطر ($D_{50} = 3/8$) اینچ در سه عمق کارگذاری $\left(\frac{T}{D_{50}} = 0, 2, 4 \right)$ و در یک ردیف به طول ۵ سانتی متر استفاده گردید. در انتخاب پارامترهای مورد نیاز از استانداردهای موجود در زمینه طراحی آبشکنها استفاده شد. بدین ترتیب که طولهای مورد آزمایش در این تحقیق به ترتیب ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ سانتی متر معادل ۲۰، ۲۵ 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 شده است. در شکل (۱) نمایی از فلوام آزمایشگاهی نشان داده شده است. در جدول (۱) دامنه اندازه گیریها ارائه شده است.

جدول ۱. دامنه اندازه گیریهای تحقیق حاضر

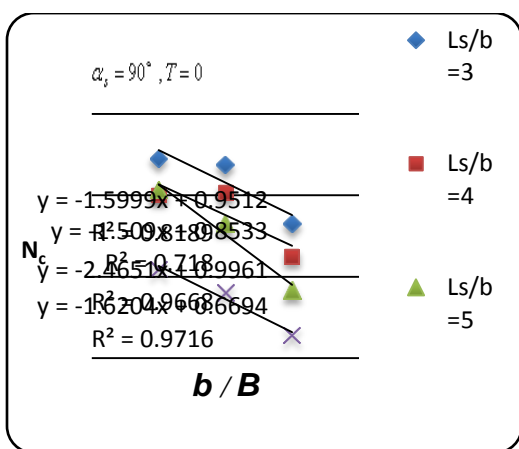
پارامترهای قرانت شده	حداقل	حداکثر
h_{cs}	۱۰	۱۴
$Q_c \left(\frac{lit}{s} \right)$	۲۰	۳۳
$h_{of} (cm)$	۱۰/۹	۱۸/۹
$Q_f \left(\frac{lit}{s} \right)$	۲۱/۳	۳۵/۸

اندازه گیری های صورت گرفته برای این بخش از آزمایشها شامل عمق آبشستگی دماغه آبشکن برای آبشکن بحرانی (h_{cs})، دبی جریان جهت انجام آزمایش شناسایی آبشکن بحرانی $Q_c \left(\frac{lit}{s} \right)$ ، عمق جریان (h_{of}) در لحظه شکست ریپ رپ (RipRap failure) در قسمت مستقیم کانال (approach)، دبی جریان مورد آزمایش در لحظه شکست ریپ رپ $Q_f \left(\frac{lit}{s} \right)$ برای هر آزمایش به صورت جداگانه می باشد.

هدف از تحقیق حاضر بررسی عوامل موثر بر طراحی ریپ رپ در رودخانههای با قوس ملایم بود لذا نسبت شعاع به عرض کف ۴ انتخاب گردید که به مفهوم قوس های ملایم می باشد.

۱۷/۵ سانتیمتر معادل ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد عرض فلوم آزمایشگاهی استفاده گردید.

در شکل‌های (۲) تا (۹) وضعیت پایداری ریپرپ برای طول‌های مختلف آبشکن نشان داده شده است. شکل‌های (۲) تا (۴) برای زاویه قرارگیری ۹۰ درجه آبشکن‌ها و شکل‌های (۵) تا (۷) 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 (۲) تا (۱۳) مقایسه کمی پایداری آبشکن در وضعیت‌های مختلف آورده شده است.



شکل ۲. مقایسه عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه و فواصل قرارگیری مختلف

جدول ۲. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک طول مشخص برای 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		
	$0 - 2D_{50}$	$0 - 4D_{50}$	$2D_{50} - 4D_{50}$
10.5	4.17	19.74	14.74
14	2.07	8.44	6.24
17.5	3.78	8.51	4.55

پارامترهای شماره ۶ و ۷ در معادله فوق به ترتیب عدد فرود و رینولدز می‌باشند که با توجه به شرایط هیدرولیکی متلاطم حاکم بر تحقیق فوق می‌توان از عدد رینولدز صرف نظر نمود. همچنین با ترکیب سه پارامتر عدد فرود (Fr)، دانسیته نسبی المان‌های ریپرپ (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:

$$f\left(\frac{b}{B}, \theta, \frac{T}{D_{50}}, \frac{V_i}{\sqrt{(G_s - 1)gd_R}}, \frac{\lambda}{h_o}\right) = 0 \quad (۸)$$

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



شکل ۱. نمایی از فلوم آزمایشگاهی

۳. نتایج

بررسی پایداری ریپرپ در عمق‌های کارگذاری مختلف برای طول‌های متفاوت آبشکن

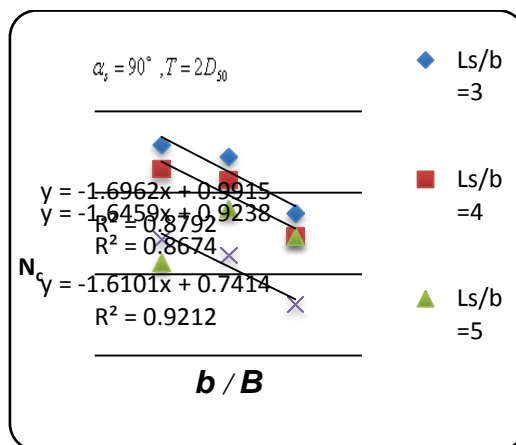
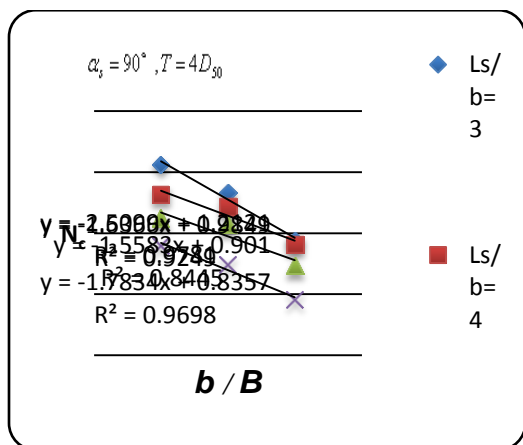
به منظور بررسی پایداری ریپرپ در عمق‌های کارگذاری مختلف، اقدام به انجام آزمایش‌هایی در طول‌های مختلف صورت گرفت. بدین منظور از سه طول آبشکن ۱۰/۵، ۱۴ و

جدول ۵. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص برای طول‌های مختلف، زاویه ۹۰ درجه و $L_s = 5$

درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول‌های مختلف		
$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)
13.703	14.11	3.09
14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)
30.62	23.57	21.66
10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)
40.13	34.36	24.07

جدول ۳. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص برای طول‌های مختلف در زاویه ۹۰ درجه و $L_s = 3$

درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول‌های مختلف		
$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
۱۰/۵-۱۴(Cm)	10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)
۲/۰۳۲	4.17	11.27
۱۴-۱۷/۵(Cm)	14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)
۲۱/۶۳	20.32	21.58
۱۰/۵-۱۷/۵(Cm)	10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)
۲۳/۲۲	23.64	30.42



شکل ۴. مقایسه عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه و فواصل مختلف و عمق کارگذاری $4D_{50}$

شکل ۳. مقایسه عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه و فواصل مختلف و عمق کارگذاری $2D_{50}$

جدول ۶. مقایسه کمی درصد 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		
	$0 - 2D_{50}$	$0 - 4D_{50}$	$2D_{50} - 4D_{50}$
10.5	16.27	33.73	15.02
14	23.82	37.67	11.19
17.5	26.95	48.83	17.23

جدول ۴. مقایسه کمی درصد 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		
	$0 - 2D_{50}$	$0 - 4D_{50}$	$2D_{50} - 4D_{50}$
10.5	6.36	5.71	0.61
14	5.86	18.71	12.14
17.5	16.62	34.06	14.95

جدول ۷. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص در حالت طول‌های مختلف، زاویه ۹۰ درجه و

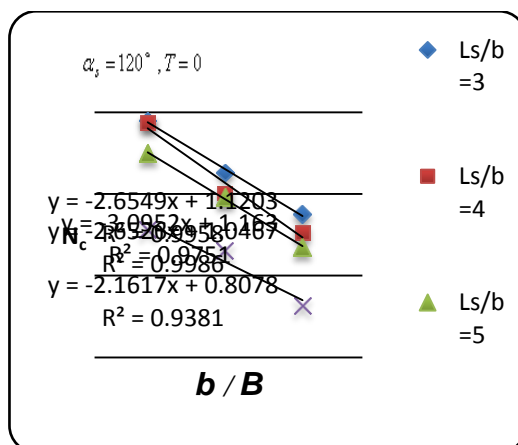
$$L_s = 7$$

درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول‌های مختلف		
$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)
13.636	8.02	11.09
14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)
29.09	27.29	23.34
10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)
38.76	33.13	31.84

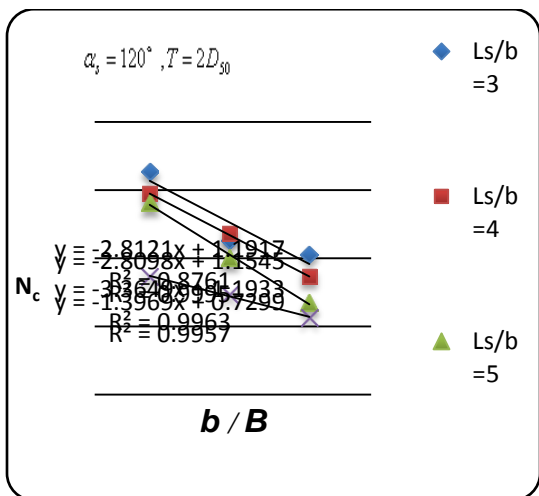
جدول ۹. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص در حالت طول‌های مختلف، زاویه ۱۲۰ درجه و

$$L_s = 3$$

درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول‌های مختلف		
$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)
16.410	16.76	22.30
14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)
15.64	14.08	15.89
10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)
29.49	28.49	34.65



شکل ۵. مقایسه عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و فواصل مختلف و عمق کارگذاری روی بستر



شکل ۶. مقایسه عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه

ثابت ۱۲۰ درجه و فواصل مختلف و عمق کارگذاری $2D_{50}$

جدول ۱۰. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک طول مشخص در حالت عمق‌های کارگذاری‌های مختلف، زاویه ۱۲۰ درجه و

$$L_s = 5$$

طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در طول مشخص در شرایط عمق‌های کارگذاری‌های مختلف		
	$0 - 2D_{50}$	$0 - 4D_{50}$	$2D_{50} - 4D_{50}$
10.5	8.71	27.29	17.08
14	6.76	17.08	9.67
17.5	8.30	15.32	6.48

جدول ۸. مقایسه کمی درصد 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		
	$0 - 2D_{50}$	$0 - 4D_{50}$	$2D_{50} - 4D_{50}$
10.5	9.36	23.59	13.01
14	8.90	14.88	5.49
17.5	10.91	14.55	3.28

جدول ۱۳. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص در حالت طول‌های مختلف، زاویه ۱۲۰ درجه و

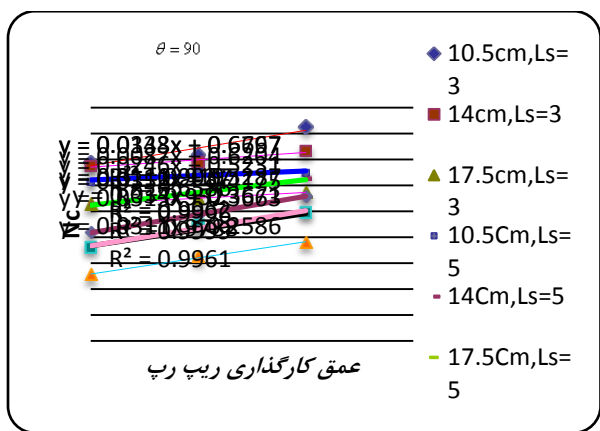
$$L_s = 7$$

درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول‌های مختلف		
$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)
10.136	9.71	11.30
14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)
29.28	13.79	14.26
10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)
36.45	22.16	23.95

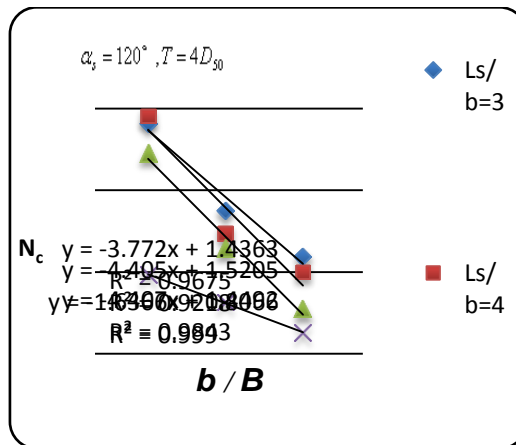
جدول ۱۱. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک عمق کارگذاری مشخص در حالت طول‌های مختلف، زاویه ۱۲۰ درجه و

$$L_s = 5$$

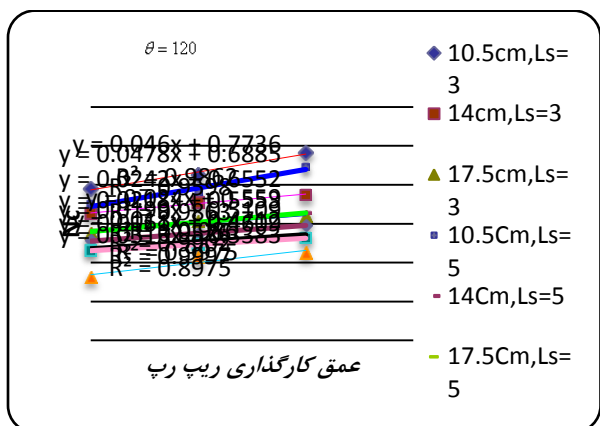
درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول‌های مختلف		
$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)	10.5-14(Cm)
19.714	21.16	26.15
14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)	14-17.5(Cm)
16.37	15.17	17.63
10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)	10.5-17.5(Cm)
32.86	33.11	39.17



شکل ۸. مقایسه عدد پایداری برای طول‌ها و فواصل طولی مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه



شکل ۷. مقایسه عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و فواصل مختلف و عمق کارگذاری $4D_{50}$



شکل ۹. مقایسه عدد پایداری برای طول‌ها و فواصل طولی مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۱۲۰ درجه

جدول ۱۲. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک طول مشخص در حالت عمق‌های کارگذاری‌های مختلف، زاویه ۱۲۰ درجه و

$$L_s = 7$$

طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در طول مشخص در شرایط عمق‌های کارگذاری‌های مختلف		
	$0 - 2D_{50}$	$0 - 4D_{50}$	$2D_{50} - 4D_{50}$
10.5	6.43	15.59	8.61
14	6.94	14.10	6.69
17.5	30.37	38.34	6.12

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 شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) وضعیت پایداری ریپرپ برای طول‌های مختلف، در سه فاصله قرارگیری و زاویه 90 درجه و در شکل‌های (۱۳) تا (۱۵) وضعیت پایداری ریپرپ برای طول‌های مختلف، در سه فاصله قرارگیری و زاویه 120 درجه مورد بررسی قرار گرفته است.

در بررسی اشکال (۲) تا (۹) 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 (۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱) 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 (۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۲) 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.

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

جدول ۱۴. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۰/۵ سانتی‌متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۹۰ درجه

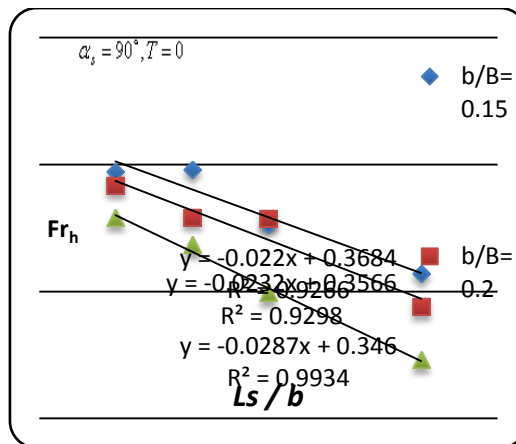
طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای فواصل طولی مختلف -زاویه ۹۰ درجه		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
10.5	LS=3-5	LS=3-5	LS=3-5
	11.03	9.32	21.45
	LS=5-7	LS=5-7	LS=5-7
	31.81	25.46	13.73
	LS=3-7	LS=3-7	LS=3-7
	39.33	32.41	13.73

جدول ۱۵. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۴ سانتی‌متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۹۰ درجه

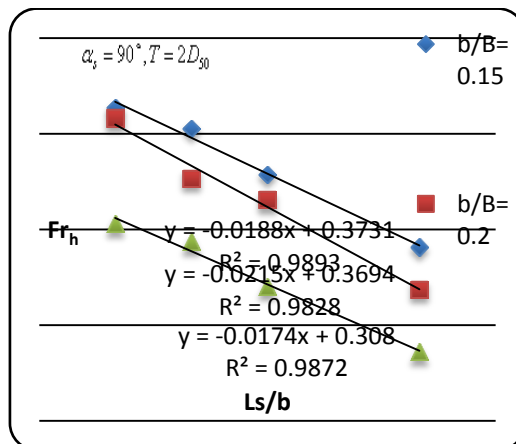
طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول های مختلف -زاویه ۹۰ درجه		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
14	LS=3-5	LS=3-5	LS=3-5
	21.63	18.72	14.21
	LS=5-7	LS=5-7	LS=5-7
	31.76	20.18	20.86
	LS=3-7	LS=3-7	LS=3-7
	46.52	35.12	32.10

جدول ۱۶. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۷/۵ سانتی‌متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۹۰ درجه

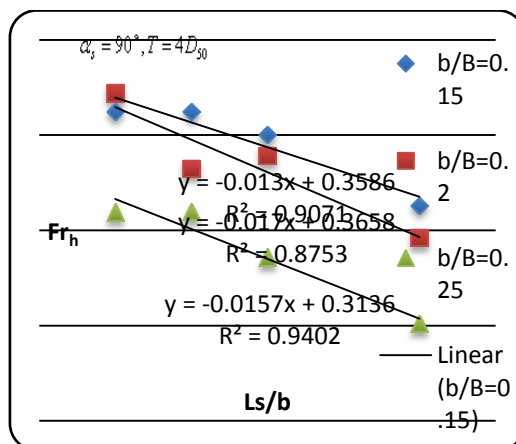
طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول های مختلف -زاویه ۹۰ درجه		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
17.5	LS=3-5	LS=3-5	LS=3-5
	30.62	22.04	14.29
	LS=5-7	LS=5-7	LS=5-7
	30.25	24.07	22.56
	LS=3-7	LS=3-7	LS=3-7
	51.61	40.80	33.62



شکل ۱۰. مقایسه عدد پایداری برای فواصل مختلف قرار گیری آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه عمق کارگذاری روی بستر



شکل ۱۱. مقایسه عدد پایداری برای فواصل مختلف قرار گیری آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه و عمق کارگذاری $T = 2D_{50}$



شکل ۱۲. مقایسه عدد پایداری برای فواصل مختلف قرار گیری آبشکن در زاویه ثابت ۹۰ درجه و عمق کارگذاری $T = 4D_{50}$

جدول ۱۷. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۰/۵ سانتی‌متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۱۲۰ درجه

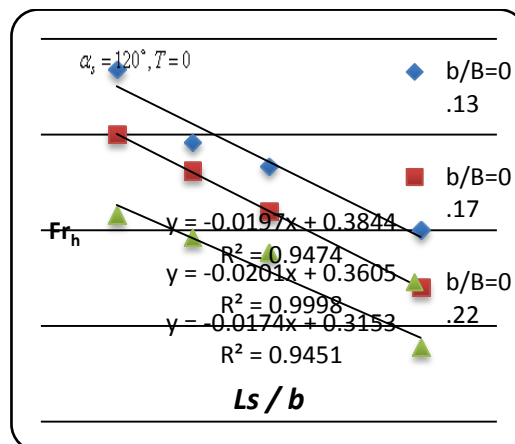
طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای فواصل طولی مختلف-زاویه ۱۲۰ درجه		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
10.5	LS=3-5	LS=3-5	LS=3-5
	10.256	10.79	7.57
	LS=5-7	LS=5-7	LS=5-7
	26.71	28.25	33.45
	LS=3-7	LS=3-7	LS=3-7
	34.23	35.99	33.45

جدول ۱۸. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۴ سانتی‌متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۱۲۰ درجه

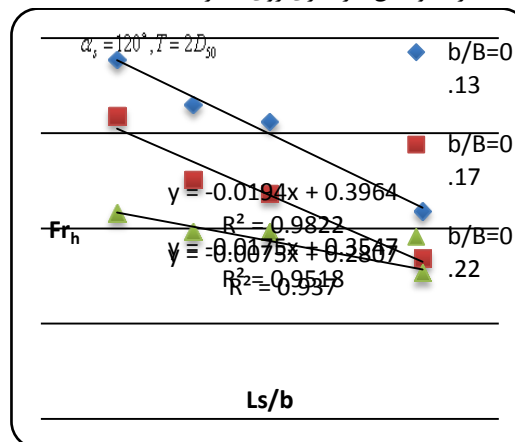
طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول های مختلف-زاویه ۱۲۰ درجه		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
14	LS=3-5	LS=3-5	LS=3-5
	13.804	15.49	12.15
	LS=5-7	LS=5-7	LS=5-7
	17.97	17.83	20.06
	LS=3-7	LS=3-7	LS=3-7
	29.29	30.56	29.77

جدول ۱۹. مقایسه کمی درصد تغییرات در میزان پایداری در یک طول (۱۷/۵ سانتی‌متر) و عمق کارگذاری مشخص برای فواصل طولی مختلف و زاویه ۱۲۰ درجه

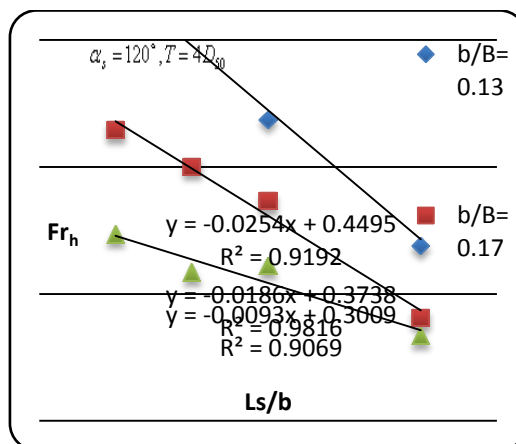
طول آبشکن (Cm)	درصد تغییرات در میزان پایداری در هر عمق کارگذاری برای طول های مختلف-زاویه ۱۲۰ درجه		
	$T = 0$	$T = 2D_{50}$	$T = 4D_{50}$
17.5	LS=3-5	LS=3-5	LS=3-5
	14.545	16.56	13.97
	LS=5-7	LS=5-7	LS=5-7
	30.64	16.50	16.79
	LS=3-7	LS=3-7	LS=3-7
	40.73	30.33	28.41



شکل ۱۳. مقایسه عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و عمق کارگذاری روی بستر



شکل ۱۴. مقایسه عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و عمق کارگذاری $T = 2D_{50}$



شکل ۱۵. مقایسه عدد پایداری برای طول‌های مختلف آبشکن در زاویه ثابت ۱۲۰ درجه و عمق کارگذاری $T = 4D_{50}$

استخراج معادلات مورد نظر با استفاده از رگرسیون غیر خطی و توسط نرم افزار آماری SPSS صورت پذیرفت.

استخراج رابطه جهت طراحی ریپرپ در شرایط قوس
به منظور استخراج یک رابطه جهت طراحی ریپرپ در شرایط قوس، با استفاده از نتایج حاصل از این تحقیق با در نظر گرفتن شرایط مختلف برای طول، فاصله، زاویه و قرارگیری در عمق‌های مختلف اقدام به ارائه رابطه کاربردی زیرگردید.

(۹)

$$N_c = a \left(\frac{b}{B} \right)^b \left(\frac{L_s}{b} \right)^c \left(\frac{T}{D_{r50}} \right)^d$$

با توجه به داده‌های آزمایشگاهی و با استفاده از آنالیز رگرسیون غیرخطی مقادیر زیر جهت ضرایب و توان‌های معادله فوق به صورت زیر به دست آمد:

$$a = 0.949, b = -0.607, c = -3.819, d = -0.071$$

لذا می‌توان به صورت کلی معادله را به شکل معادله زیر بیان نمود.

$$N_c = 0.95 \left(\frac{b}{B} \right)^{-0.607} \left(\frac{L_s}{b} \right)^{-3.819} \left(\frac{T}{D_{50}} \right)^{-0.071} \quad R^2 = 0.75$$

$$RMSE = 0.01$$

(۱۰)

بررسی کارآیی روابط موجود جهت طراحی ریپرپ

همانگونه که در بخش مروری بر تحقیقات پیشین مشخص گردید کلیه تحقیقات صورت گرفته در خصوص پایداری ریپرپ در مسیر مستقیم بوده است لذا طبیعتاً نمی‌توان از این روابط در قوس استفاده نمود. در جدول زیر معتبرترین روابط موجود جهت طراحی ریپرپ در مسیر مستقیم ارائه شده است که این روابط برای تکیه‌گاه عمودی پل بوده است.

از بررسی شکل‌های (۸) تا (۱۳) 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.

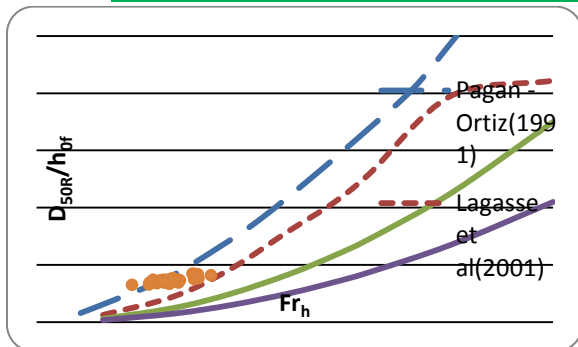
در جداول (۱۳) تا (۱۸) درصد تغییرات در میزان پایداری برای یک طول آبشکن و یک عمق کارگذاری مشخص در فواصل مختلف قرارگیری ارائه شده است. همانگونه که بیان گردید افزایش در فاصله قرارگیری آبشکن‌ها موجب کاهش پایداری می‌گردد لذا اعداد ارائه شده در جدول به منظور میزان درصد کاهش در پایداری ریپرپ‌ها در هر حالت مقایسه‌ای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

ارائه روابط جهت طراحی ریپرپ

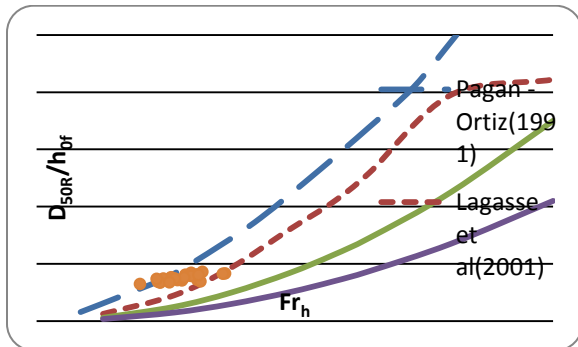
همانگونه که در بخش آنالیز ابعادی مشاهده گردید با در نظر گرفتن عوامل موثر در تحقیق حاضر اقدام به استخراج پارامترهای بدون بعد قابل کاربرد گردید. این روابط بدون بعد از ترکیب پارامترهای وابسته به هندسه آبشکن، هندسه مقطع رودخانه، پارامترهای هیدرولیکی و همچنین پارامترهای وابسته به رسوبات بستر و ریپرپ بدست آمدند. در این بخش با در نظر گرفتن پارامترهای بدون بعد استخراج شده و با توجه به آزمایش‌های انجام یافته در این تحقیق اقدام به استخراج معادلاتی گردید که بتوان از آنها در پروژه‌ها و طرح‌های مهندسی رودخانه استفاده نمود.

جدول ۲۰. معادلات ارائه شده جهت تعیین اندازه المان‌های ریپ‌رپ در اطراف تکیه‌گاه‌های عمودی

معادله	موارد استفاده	معادله اندازه ریپ‌رپ
ایسباش (۱۹۳۶)	---	$\frac{D_r}{h} = \frac{0.347}{(S_g - 1)} F_r^2$
پگان-اورتیز (۱۹۹۱)	---	$\frac{D_r}{h} = \frac{1.05}{(S_g - 1)^{0.81}} F_r^{1.62}$
اوسترودس (۱۹۹۴)	---	$\frac{D_r}{h} = \frac{0.58}{(S_g - 1)} F_r^2$
لاگاس و همکاران (۲۰۰۱)	$F_r \leq 0.8$	$\frac{D_r}{h} = \frac{1.02}{(S_g - 1)} F_r^2$
	$F_r > 0.8$	$\frac{D_r}{h} = \frac{0.69}{(S_g - 1)} F_r^{0.28}$



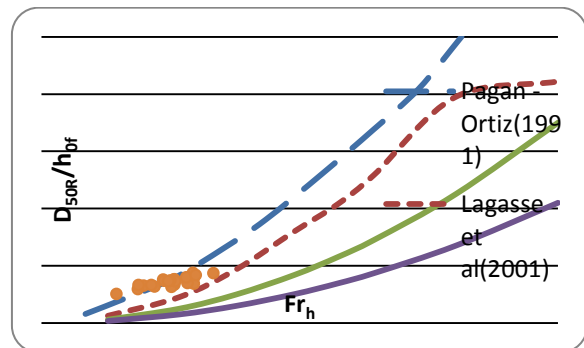
شکل ۱۷. مقایسه معادلات برای اندازه ریپ‌رپ در تکیه‌گاه عمودی و آبشکن در قوس (عمق کارگذاری $T=2D_{50}$)



شکل ۱۸. مقایسه معادلات برای اندازه ریپ‌رپ در تکیه‌گاه عمودی و آبشکن در قوس (عمق کارگذاری $T=4D_{50}$)

همانگونه که از روابط فوق مشخص است کلیه روابط ارائه شده، اندازه ریپ‌رپ را به صورت تابعی از عدد فرود جریان، عمق جریان و چگالی نسبی ریپ‌رپ بیان نموده است.

در اشکال (۱۶) تا (۱۸) مقایسه میان نتایج حاصل از این تحقیق و سایر روابط ارائه شده جهت طراحی ریپ‌رپ در مسیر مستقیم صورت گرفته است.



شکل ۱۶. مقایسه معادلات برای اندازه ریپ‌رپ در تکیه‌گاه عمودی و آبشکن در قوس (عمق کارگذاری $T=0$)

بررسی نتایج بدست آمده در خصوص مقایسه میان روابط موجود در طراحی ریپ‌رپ در مسیر مستقیم و داده‌های آزمایشگاهی در شرایط قوس نشان می‌دهد که از میان روابط

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 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 قرار گیری بیشتر دست پیدا نمود.

به صورت کلی می‌توان مهم‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق را به صورت زیر خلاصه نمود.

- در کلیه حالات استفاده از طولهای مختلف آبشکن - ها در قوس، کارگذاری ریپرپ در عمق بیشتر

ارئه شده در مسیر مستقیم، رابطه‌های پاگان- اورتیز (۱۹۹۱) و لاگاس و همکاران (۲۰۰۱) به داده‌های آزمایشگاهی مربوط به قوس نزدیکتر می‌باشد. علت این موضوع را می‌توان به ضرایب ایمنی لحاظ شده در این دو رابطه اشاره نمود. سایر روابط ارائه شده اندازه ریپرپ در قوس را کمتر از حد مورد نظر آن پیش‌بینی می‌نماید.

۴. بحث و نتیجه گیری

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 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

- 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 معنی‌داری دارد.
- نتایج حاصل از این تحقیق برای طراحی ریپرپ به نتایج تحقیق‌های پاگان-اورتیز (۱۹۹۱) و لاگاس و همکاران (۲۰۰۱) نزدیک‌تر است.

- 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 معنی‌داری در پایداری ریپرپ ندارد.
- با افزایش طول آبشکن، پایداری ریپرپ‌ها و نیز آبشکن‌ها کاهش می‌یابد.

منابع

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.

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

Simarro, G. Chreties, Ch and Teixeira, L, (2011). RipRap sizing for pile groups. J. Hyd. Eng.: 10.1061/(ASCE)HY.1943.1943-7900.0000

Abad, J.D. and Rhoalds, B.L. (2008). Flow Structure at Different Stages in a Meander-Bend with Bendway Weirs. J. Hyd. Eng., 134 (8):1052-1063.

Cardoso, A. H., and Cristina, M. S., (2009).H. 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.

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

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