

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر زاویه دماغه آبشکن T بر پایداری ریپرپ جهت محافظت از آبشکن در رودخانه های قابل کشتیرانی در قوس ۹۰ درجه

نیما شهنی کرم زاده\*، سید حبیب موسوی جهرمی، محمد محمودیان شوشتری، محمود شفاعی بجستان

گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲

### چکیده

در قوس رودخانه‌ها به دلیل نیروی گریز از مرکزی که به سمت ساحل خارجی وارد می‌شود، یک جریان ثانویه به وجود می‌آید که در سطح به سمت ساحل خارجی و در کف به سمت ساحل داخلی است. این جریان ثانویه در ترکیب با جریان اصلی رودخانه جریان حلزونی را به جود می‌آورد. جریان حلزونی باعث فرسایش قوس خارجی و رسوبگذاری در قوس داخلی می‌شود. یکی از راه‌های کنترل فرسایش قوس خارجی استفاده از آبشکن‌ها است. از آنجا که آبشکن‌ها مانعی در برابر جریان هستند، خود تحت فرسایش قرار می‌گیرند. تحقیق حاضر به منظور حفاظت از آبشکن‌ها در قوس ۹۰ درجه انجام شده است. یکی از روش‌های حفاظت از آبشکن‌ها، استفاده از ریپرپ است. در این تحقیق، به بررسی اثر تغییر زاویه دماغه آبشکن T شکل، بر روی پایداری ریپرپ پیرامون آبشکن پرداخته شده است. به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، از سه طول مختلف دماغه آبشکن، چهار زاویه دماغه نسبت به بدنه آبشکن و سه قطر ریپرپ استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد افزایش در زاویه دماغه آبشکن موجب کاهش عدد فرود جریان در لحظه شکست ریپرپ، کاهش شاخص شکست و در نتیجه کاهش پایداری ریپرپ می‌شود.

**واژگان کلیدی:** آبشکن T شکل، پایداری ریپرپ، قوس ۹۰ درجه، فرسایش سواحل

## ۱. مقدمه

روش‌های سازه‌ای از جمله روش‌های محافظت از سواحل است که از میان این روش‌ها استفاده از آبشکن روشی متداول است. این سازه علاوه بر محافظت سواحل در برابر فرسایش، به منظور متمرکز نمودن جریان به سمت مرکز رودخانه به منظور کشتیرانی فراوانی دارد. نکته قابل توجه در خصوص آبشکن‌ها این است که این سازه در شرایط مختلف عملکردهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند؛ لذا در اغلب موارد فعالیت‌های مهندسی رودخانه، می‌توان از آنها استفاده کرد. موارد مورد بررسی در خصوص آبشکن را می‌توان به دو دسته کلی تحقیقات عددی و آزمایشگاهی تقسیم بندی نمود که عمده این تحقیقات بیشتر در خصوص فرسایش دماغه آبشکن، بررسی الگوی جریان و رسوب اطراف آبشکن بوده است. با وجود تحقیقات گسترده صورت گرفته تاکنون در خصوص پایداری آبشکن‌ها تحقیقات زیادی صورت نگرفته است و تحقیقات اندک صورت گرفته غالباً 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 به کار برد. جهت مقابله با آبشستگی ایجاد شده در اطراف آبشکن‌ها روش‌های متعددی ارائه شده است که یکی از ساده‌ترین و در عین حال اقتصادی‌ترین روش‌ها، استفاده از ریپرپ است. امروزه استفاده از ریپرپ به دلیل در دسترس بودن مصالح، سادگی اجرا و هزینه‌های کم بسیار متداول است. علی‌رغم مزایای عنوان شده، چنانچه طراحی ریپرپ به درستی صورت نگیرد، پس از مدتی به تدریج تخریب شده و باعث تخریب آبشکن می‌شود. بر همین اساس به منظور طراحی موفقیت آمیز، بررسی شکست ریپرپ پیرامون آبشکن ضروری می‌نماید. بر اساس نظر (Eudeline et al., 2001). شکست ریپرپ به سه دسته تقسیم می‌-

شود 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 ساییش و موج نیز می‌توانند باعث این نوع تخریب شوند. فرسایش زیر سطحی زمانی اتفاق می‌افتد که مواد بستر که ریزتر از المان‌های ریپرپ هستند 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.

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 مستقیم.

بخش دوم: مطالعات عددی و آزمایشگاهی صورت گرفته در خصوص الگوی جریان و رسوب در قوس.

(Chiew 1995) پایداری ریپرپ را در اطراف پایه پل مورد بررسی قرار داد. آزمایش‌ها 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 می‌شوند. 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

و بر اساس عدد بی‌بعد اندازه ذره دیاگرام شیلدز را به سه قسمت رژیم لزوج، رژیم انتقالی و رژیم توربولانت یا آشفته تقسیم کردند.

(Melville et al., 2008) آزمایشاتی را جهت بررسی پایداری ریپ‌رپ در اطراف دیواره‌ها انجام دادند. هدف از این تحقیق تعیین اندازه مناسب سنگ‌های ریپ‌رپ جهت مقاومت کردن در مقابل گسیختگی ناشی از برش<sup>۱</sup> جریان بوده است. فلوم مورد استفاده دارای ۱/۵ متر عرض بوده و دیواره به صورت 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.

(Gisonni and Hager 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 ریپ‌رپ و تعدادی از پارامترهای هیدرولیکی بر روی پایداری ریپ‌رپ پرداختند هدف از این تحقیق ارائه معادلاتی جهت تخمین اندازه قطر ریپ‌رپ و تعداد ردیف‌های آن جهت محافظت از آبشکن بوده است. طول فلوم مورد استفاده در این تحقیق ۵ متر با عرض ۱ متر است. 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. ریپ‌رپ به صورت دایره‌وار و

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 ریپ‌رپ بر روی شکست آن اشاره نمود. بر این اساس در صورتی که لایه ریپ‌رپ ضخیم در نظر گرفته شود، حتی بدون وجود فیلتر نیز می‌توان از تخریب زیرسطحی جلوگیری کرد.

(Lauchlan and Melville 2001) 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 زمانی که 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. (Hagerand Oliveto 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 هاگر و

<sup>۱</sup> Shear Failure

ورودی فلوم آغاز می‌شود. 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 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 به کار برد. این محققین معادله‌ای ارائه دادند که بر اساس آن با افزایش نسبت طول دیواره به عمق جریان، قطر ریپ رپ نیز افزایش می‌یابد.

- هرچند 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.

(Simarro *et al.*, 2011)، در یک تحقیق آزمایشگاهی به تعیین اندازه ریپ‌رپ جهت محافظت از پایه‌های پل در مقابل فرسایش موضعی پرداختند. در این تحقیق اثر هیدرولیک جریان و همچنین فاصله میان پایه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مراحل عملی این تحقیق در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۳۰ متر و عرض ۷۵ سانتی-متر صورت پذیرفت. پایه‌های پل مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌های این تحقیق دارای قطر ۶/۳ سانتی‌متر بود که در فاصله ۲۰ متری از پایین دست ابتدای فلوم مستقر گردیدند. آزمایش‌های برای چهار اندازه ریپ‌رپ (۱/۶۵، ۵، ۷ و ۱۱/۱ میلی‌متر) انجام گرفت. شیب طولی کانال آزمایشگاهی نیز در حدود ۷ درصد بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان‌دهنده تأثیر کم فاصله قرارگیری پایه‌های پل بر روی اندازه ریپ‌رپ می‌باشد.

شیلدز در سال ۱۹۳۶ دیگرامی ارائه داد که در آن عدد رینولدز ذره  $R_* = \frac{u_* d_s}{\nu}$  را به پارامتر انتقال یعنی  $T_i = \frac{\tau_i}{(\rho_s - \rho) g d_s}$  مربوط می‌کرد. در این رابطه  $u_*$  = سرعت برشی،  $\tau_i$  = تنش برشی آستانه می‌باشد. این

یک لایه منفرد در اطراف آبشکن‌های اول و دوم و بدون فیلتر بر روی رسوبات بستر قرار گرفت. زاویه آبشکن‌ها غالباً ۹۰ درجه بوده ولی چند آزمایش با زاویه‌های ۶۰ و ۱۲۰ درجه نیز انجام شد.

(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 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.

(Dey *et al.*, 2008) آزمایش‌هایی 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.

(Cardoso and Cristina 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<sup>۱</sup> 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 عمق 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

<sup>۱</sup> Clear Water Regime

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 روش ها

### ۲-۱. تجهیزات آزمایشگاهی

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، مراحل عملی و آزمایشات در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت.

آزمایش ها در فلومی با قوس ۹۰ درجه، طول ۱۲/۴ متر

و عرض ۷۰ سانتی متر انجام شد (شکل ۱).

قسمت‌های مختلف فلوم و سیستم گردش آب مورد

استفاده در این تحقیق عبارتند از:

(۱) مخزن آرام کننده ورودی، (۲) مسیر مستقیم ورودی

بطول ۵ متر، (۳) قوس ۹۰ درجه ملایم  $(R/B = 4)$ ،

(۴) مسیر مستقیم خروجی بطول ۳ متر، (۵) دریچه

کشویی، (۶) مخزن آرام کننده خروجی، (۷) پمپ، (۸)

حوضچه مکش پمپ، (۹) مخزن تأمین بار ثابت، (۱۰)

ریل، (۱۱) محرک به منظور حرکت سرعت سنج و عمق-

سنج روی قوس ۹۰ درجه و (۱۲) لوله‌های رابط و

شیرآلات.

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 هستند. یکی از این معادلات توسط هاگر و دل جودس (۲۰۰۰) براساس عدد بی‌بعد اندازه ذره  $D_* = (g'v^2)^{1/3} d_{50}$  محدوده مورد نظر را به سه قسمت تقسیم کردند. در رابطه فوق  $g' = [(\rho_s - \rho)/\rho]g = \rho'g$  می‌باشد. بر این اساس دیاگرام شیلدز را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

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

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.

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

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 ( $n$ ) را بر حسب اندازه متوسط ذره نوشت:

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

حال می‌توان نوشت:

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

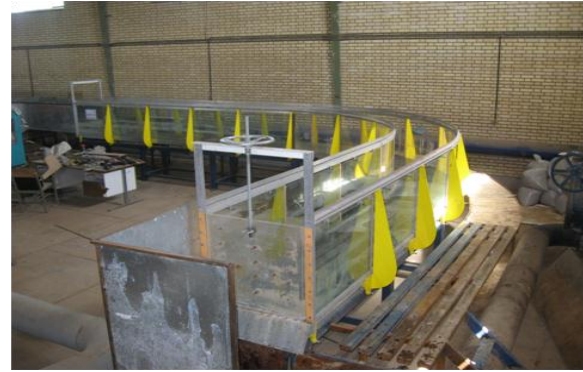
پس از آن عدد فرود آستانه حرکت ذره

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

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

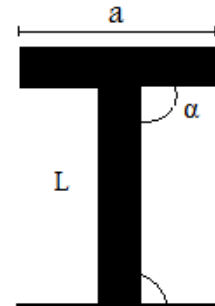
مورد بررسی قرار داد. در آزمایش‌های شاهد هدف بررسی الگوی جریان و الگوی فرسایش در قوس می‌باشد. نحوه انجام آزمایش‌ها در این بخش به این ترتیب بود که در ابتدا سطح بستر را کاملاً صاف کرده، با استفاده از متر لیزری توپوگرافی همتراز بودن بستر کنترل می‌شد. بعد از انجام آزمایش مورد نظر با استفاده از متر لیزری توپوگرافی بستر مجدداً برداشت و مقادیر رسوبگذاری و فرسایش به طور دقیق تعیین می‌شد. متغیرهای مورد نظر در این بخش از آزمایش‌ها، شامل دبی جریان و عمق جریان در لحظه آستانه حرکت رسوبات بود و انجام هر آزمایش حدود ۱۰ ساعت به طول انجامید. بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته در این بخش، ناحیه فرسایش پذیر در دو سوم انتهایی قوس قرار دارد که میزان فرسایش در یک سوم انتهایی بیشتر است.

در آزمایش‌های اصلی ابتدا آبشکن‌ها در محدوده محدوده فرسایش‌پذیر قرار داده شدند. پس از شناسایی محدوده مورد نظر جهت محافظت، آبشکن‌ها به فاصله ۷۰ سانتی متر از هم در آن محدوده مستقر گردیدند که این فاصله در تمامی مراحل تحقیق ثابت در نظر گرفته شد. پس از انجام این مرحله اقدام به شناسایی آبشکن‌های بحرانی جهت محافظت توسط ریپ رپ گردید. بدین منظور ابتدا دریاچه انتهایی کاملاً بسته می‌شد سپس پمپ روشن شده و آب به آرامی به داخل فلوم انتقال داده می‌شد. پس از آنکه آب روی تمامی رسوبات را می‌پوشاند، اجازه داده می‌شد تا آب کم کم زهکشی شده و تراکم نقاط مختلف بستر رسوبی یکسان گردد. پس از آن دبی را به تدریج زیاد کرده تا به دبی از پیش تعیین شده برسد. پس از رسیدن به دبی مورد نظر، عمق آب با باز کردن دریاچه انتهایی کاهش و در نتیجه سرعت افزایش می‌یافت. مدت زمان انجام این بخش از آزمایش دو ساعت منظور گردید. پس از طی این مدت، دریاچه انتهایی فلوم به آرامی بسته و سپس پمپ



شکل (۱): نمایی از فلوم آزمایشگاهی

در تحقیق حاضر از آبشکن T شکل استفاده شده که در آن طول بدنه (جان آبشکن) ثابت و برابر ۱۴ سانتی‌متر می‌باشد (L). سه طول دماغه (a) معادل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد طول بدنه آبشکن و برای هر دماغه چهار زاویه ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درجه نسبت به بدنه آبشکن ( $\alpha$ ) در نظر گرفته شده است (در کلیه مباحث و شکل‌ها  $\alpha$  برابر ۹۰ درجه می‌باشد) (شکل ۲).



شکل (۲): نمایی از آبشکن مورد استفاده

همچنین به منظور انجام آزمایش‌ها از سه اندازه متفاوت ریپ رپ استفاده شد. مصالح انتخاب شده برای ریپ رپ از جنس ماسه با قطرهای متوسط زیرهستند.

$$d_{R50} = 0.72\text{cm}, 1.12\text{cm}, 1.51\text{cm}$$

## ۲-۲. انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق که تحت شرایط آب تمیز (clear water) انجام شده است را می‌توان در قالب دو بخش آزمایش‌های شاهد و آزمایش‌های اصلی

## ۲-۳. آنالیز ابعادی

عوامل مهم در پایداری ریپ رپ پیرامون آبشکن های T شکل در این تحقیق عبارتند از:

- عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض کانال (B) و شعاع قوس (R).

- عوامل مربوط به هندسه آبشکن: طول آبشکن (L)، طول دماغه آبشکن (a) و زاویه دماغه آبشکن ( $\alpha$ ).

- خصوصیات مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: سرعت جریان در لحظه شکست ریپ رپ (U)، عمق جریان (y) و شتاب ثقل (g).

- خصوصیات مربوط به ریپ رپ: قطر متوسط ( $d_{R50}$ ) و جرم مخصوص نسبی ذرات ( $\rho_s$ )

خصوصیات مربوط به رسوب: قطر متوسط رسوبی ( $d_s$ )

- خصوصیات مربوط به سیال: جرم مخصوص ( $\rho$ ) و ویسکوزیته دینامیکی ( $\mu$ ).

بنابراین می توان نوشت:

$$F(\mu, \rho, g, d_{R50}, d_s, \rho_s, U, y, R, L, a, \alpha, B) = 0 \quad (۶)$$

اگر سه عامل عمق جریان (y)، سرعت جریان (U) و جرم مخصوص سیال ( $\rho$ ) به عنوان عامل های تکراری انتخاب شوند، بر اساس آنالیز ابعادی به روش  $\pi$  باکینگهام نتیجه می شود:

$$f\left(\frac{a}{L}, \frac{d_{R50}}{y}, \frac{U}{\sqrt{gy}}, \frac{U}{\sqrt{(G_s - 1)gd_{R50}}}, \frac{U}{\sqrt{(G_s - 1)gd_s}}, \frac{\alpha}{\alpha_0}\right) = 0 \quad (۷)$$

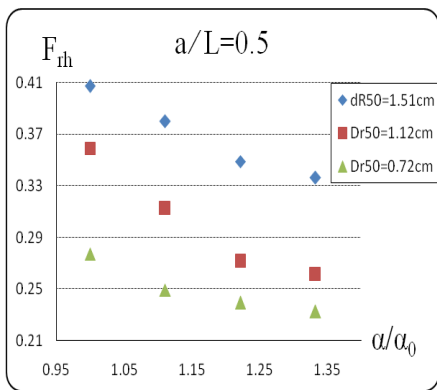
آنالیز پارامترهای موثر در این تحقیق نشان می دهد پایداری ریپ رپ و در نتیجه آبشکن وابسته به عوامل زیر است:

خاموش می گردید. پس از تخلیه کامل آب از فلوم در این مرحله، برداشت میزان عمق چاله آبشستگی در دماغه آبشکن ها صورت می گرفت. برداشت این پارامتر با استفاده از متر لیزری انجام و اعداد قرائت شده برای هر آبشکن در جدول تهیه شده برای این کار یادداشت می گردید. با بررسی های صورت گرفته مشخص گردید که آبشکن بحرانی در تمامی آزمایش ها، آبشکن مستقر در آنتهای قوس می باشد. پس از تعیین بحرانی ترین آبشکن در هر آزمایش، آبشکن مورد نظر و یک آبشکن قبل از آن نیز توسط ریپ رپ محافظت می گردید (شکل ۳).

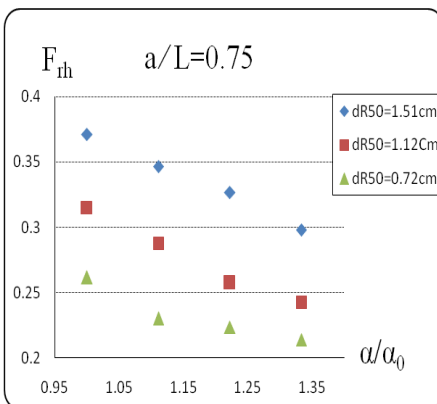


شکل (۳): ریپ رپ گذاری پیرامون آبشکن T شکل

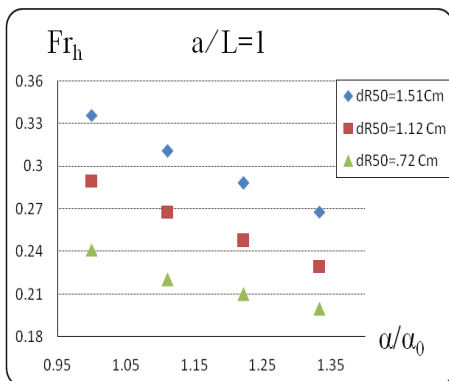
پس از ریپ رپ گذاری، مرحله نهایی آزمایش ها انجام شد. انجام آزمایش در این بخش مشابه آزمایش تعیین آبشکن بحرانی است ولی در این بخش پس از رسیدن به دبی مورد نظر و همچنین بالا آمدن سطح آب به اندازه کافی در فلوم، با بالا و یا پایین آوردن دریچه انتهایی شرایط ایجاد شکست در ریپ رپ ها فراهم گردید و رقوم سطح آب در نزدیکی ورودی به قوس ثبت می گردید. نکته مهم و قابل توجه در آزمایش های مربوط به این بخش اینکه، معمولاً برای هر تغییر عمق به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه برای برقراری جریان مورد نظر در فلوم صبر می شد. در کلیه مراحل این تحقیق منظور از شکست ریپ رپ حرکت افقی و یا عمودی نزدیک-ترین المانها به آبشکن است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۴) تغییرات زاویه دماغه آبشکن T شکل در مقابل

عدد فرود جریان

$$\frac{a}{L} = 0.5 \text{ (الف) } \frac{a}{L} = 0.75 \text{ (ب) } \frac{a}{L} = 1 \text{ (ج)}$$

الف) هیدرولیک جریان واقع در فلوم

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gy}} \quad (۸)$$

ب) هیدرولیک رسوب و پایداری رسوبات بستر

$$Fr_d = \frac{U}{\sqrt{(G_s - 1)gd_s}} \quad (۹)$$

ج) هندسه آبشکن‌ها

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} \text{ و } \frac{a}{L}$$

(۱۰)

که در آن  $\alpha_0$  برابر ۹۰ درجه می باشد.

د) هندسه ریپ رپ شامل قطر و چگالی نسبی آن (عدد

پایداری)

$$N_c = \frac{U}{\sqrt{(G_s - 1)gd_{R50}}} \quad (۱۲)$$

### ۳. نتایج

۳-۱. بررسی اثر زاویه دماغه بر پارامترهای

هیدرولیکی جریان در لحظه شکست ریپ رپ

به منظور تعیین اثر زاویه دماغه آبشکن T شکل بر روی

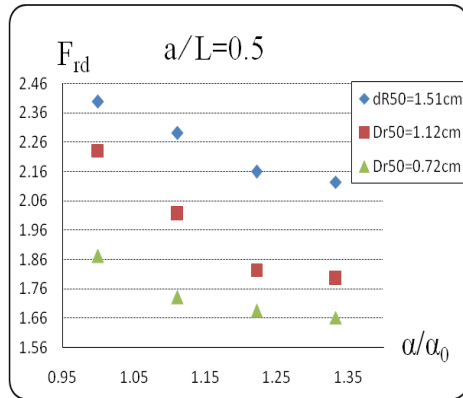
پارامترهای هیدرولیکی در لحظه شکست ریپ رپ

نمودار تغییرات زاویه دماغه آبشکن در مقابل عدد فرود

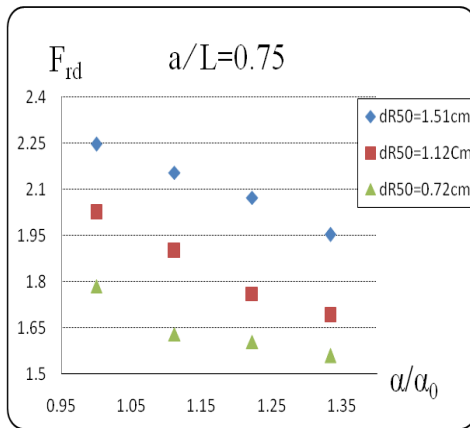
جریان ترسیم شده است. در شکل (۴) روند تغییرات یاد

شده نشان داده شده است.

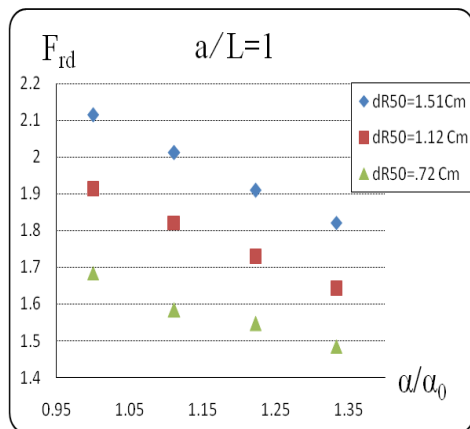




(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۵) تغییرات زاویه دماغه آبشکن T شکل در مقابل

عدد فرود دنسمتری یک ذره رسوبی

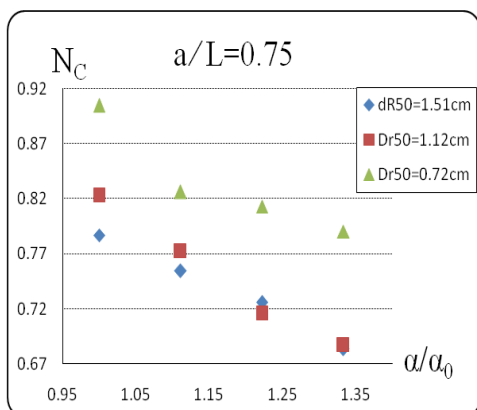
$$\frac{a}{L} = 1 \text{ (ج) } \frac{a}{L} = 0.75 \text{ (ب) } \frac{a}{L} = 0.5 \text{ (الف)}$$

همانگونه که مشاهده می‌شود در آبشکن‌های T شکل، با افزایش زاویه دماغه آبشکن عدد فرود جریان در لحظه شکست ریپ رپ کاهش یافته است. در نتیجه با افزایش زاویه دماغه آبشکن، شکست ریپ رپ و ناپایداری آبشکن با رژیم جریان ضعیف‌تری (سرعت کمتر، عمق بیشتر) اتفاق می‌افتد. یعنی با افزایش زاویه دماغه آبشکن، پایداری ریپ رپ ها کاهش می‌یابد که این موضوع مستقل از اندازه طول آبشکن و قطر ریپ رپ می‌باشد. از آنجا که در تمام شکل‌های فوق، در یک زاویه ثابت ریپ رپ های درشت تر در لحظه شکست عدد فرود بزرگتری دارند، می‌توان گفت که در زوایای دماغه یکسان ریپ رپ های درشت‌تر پایدارتر می‌باشند. این موضوع نیز مستقل از اندازه طول آبشکن می‌باشد.

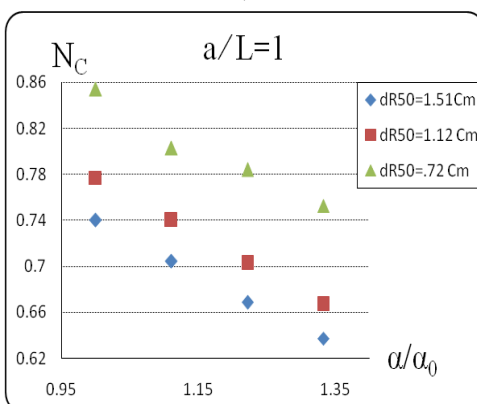
### ۲-۳. اثر زاویه دماغه بر هیدرولیک رسوب در لحظه

#### شکست ریپ رپ

به منظور تعیین تاثیر زاویه دماغه بر روی پارامترهای رسوب در لحظه شکست ریپ رپ نمودار تغییرات آن برای حالات مختلف آزمایش، در مقابل عدد فرود دنسمتری یک ذره رسوبی ترسیم شده که در شکل (۵) نشان داده شده است.



(ب)



(ج)

شکل (۶) تغییرات زاویه دماغه آبشکن T شکل در مقابل

عدد پایداری ریپ رپ

$$\frac{a}{L} = 1 \quad (\text{ج}) \quad \frac{a}{L} = 0.75 \quad (\text{ب}) \quad \frac{a}{L} = 0.5 \quad (\text{الف})$$

با توجه به شکل (۶) مشخص است که در کلیه آزمایش-ها، با افزایش زاویه دماغه آبشکن پایداری ریپ رپ کاهش می‌یابد که این موضوع مستقل از اندازه ریپ رپ ها و طول دماغه است.

۳-۴. بررسی اثر زاویه دماغه بر شاخص شکست ریپ-

رپ

نسبت سرعت متوسط جریان به سرعت متوسط بحرانی

در لحظه شکست  $\left(\frac{U}{U_c}\right)$  را می‌توان به عنوان شاخص

برای شناسایی آستانه شروع به حرکت المان‌های

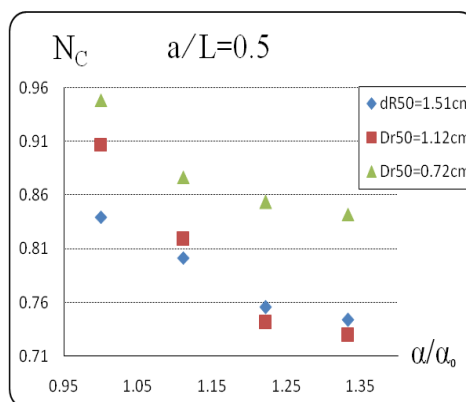
نتایج به دست آمده نشان می‌دهند در کلیه حالت‌های مورد بررسی، با افزایش زاویه نسبی آبشکن‌ها عدد فرود دنسیمتریک ذره در لحظه شکست ریپ رپ کاهش یافته است. به عبارت دیگر با افزایش زاویه نسبی حرکت رسوبات بستر تسریع می‌شود.

۳-۳. بررسی اثر زاویه دماغه بر پایداری ریپ رپ

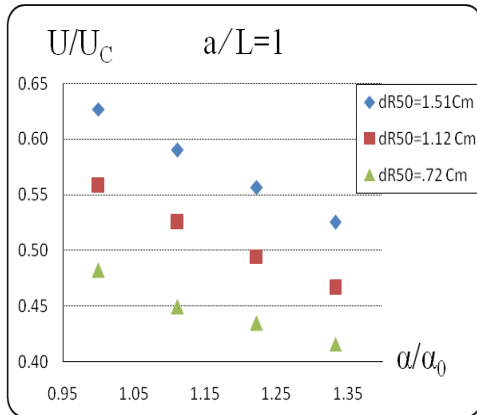
از آنجا که پارامتر  $N_c = \frac{U}{\sqrt{(G_s - 1)gd_{R50}}}$  در آنالیز

ابعادی مشاهده و به عنوان عدد پایداری ریپ رپ معرفی گردید؛ در این قسمت اثر زاویه دماغه بر پایداری ریپ رپ مورد بحث قرار می‌گیرد. شکل (۶) تغییرات زاویه دماغه آبشکن در مقابل عدد پایداری ریپ رپ را

برای حالات مختلف آزمایش نشان می‌دهد.



(الف)



(ج)

شکل (۷) تغییرات زاویه دماغه آبشکن T شکل در مقابل

شاخص شکست ریپ ریپ

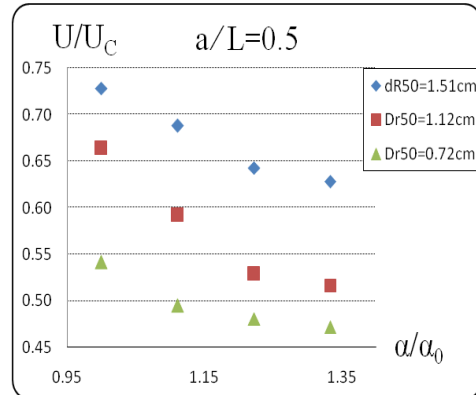
$$\frac{a}{L} = 1 \quad (\text{ج}) \quad \frac{a}{L} = 0.75 \quad (\text{ب}) \quad \frac{a}{L} = 0.5 \quad (\text{الف})$$

با توجه به شکل فوق مشخص است که با افزایش زاویه دماغه آبشکن شاخص شکست ریپ ریپ و در نتیجه پایداری ریپ ریپ ها کاهش می‌یابد. از آنجا که در شکل‌های فوق در یک زاویه یکسان، ریپ ریپ درشت‌تر شاخص شکست بیشتری دارد، ذرات درشت‌تر پایدارتر می‌باشند. به نظر می‌رسد این نتایج مستقل از طول دماغه آبشکن هستند.

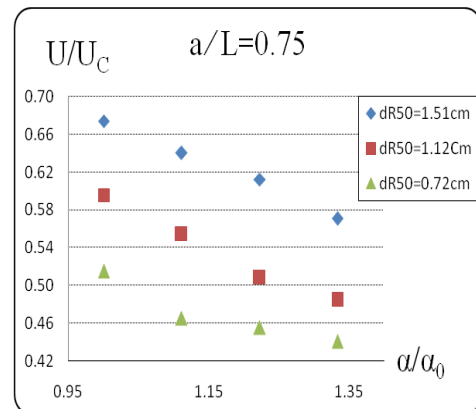
۳-۵. بررسی اثر زاویه دماغه بر پارامتر اندازه ریپ (dR50/y)

به منظور تعیین اثر زاویه دماغه آبشکن بر اندازه ریپ ریپ به عنوان نسبتی از عمق جریان، تغییرات این دو پارامتر در مقابل یکدیگر رسم گردید که نتایج آن در شکل (۸) نشان داده شده است.

ریپ ریپ معرفی نمود. در شکل (۷) اثر زاویه دماغه آبشکن T شکل بر شاخص شکست ریپ ریپ مورد بررسی قرار گرفته است.



(الف)

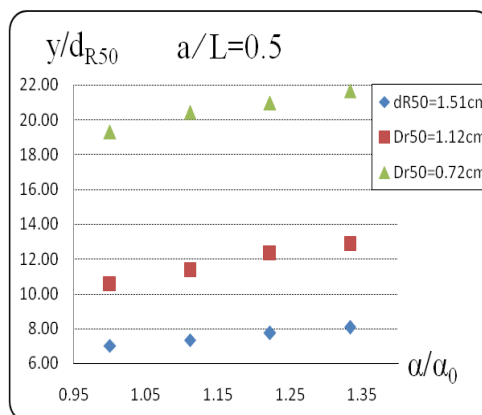


(ب)

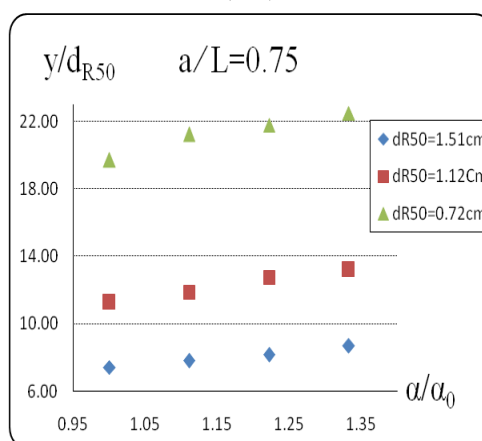
مطابق شکل (۸) با افزایش زاویه دماغه آبشکن در لحظه شکست ریپ ریپ، نسب عمق جریان به قطر متوسط ریپ ریپ  $\left(\frac{y}{d_{R50}}\right)$  نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه با افزایش زاویه دماغه آبشکن، جریان با عمق بیشتر (سرعت کمتر) موجب شکست ریپ ریپ‌ها و در نتیجه عدم پایداری آبشکن‌ها می‌گردد که این موضوع مستقل از اندازه ریپ ریپ و طول دماغه می‌باشد.

### تحلیل نتایج

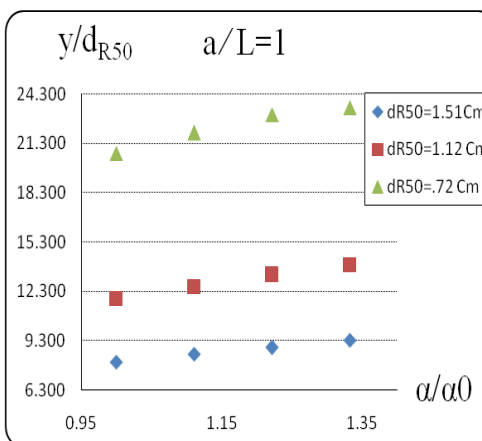
به نظر می‌رسد با افزایش زاویه دماغه، آبشکن با بردارهای بزرگتری از سرعت روبرو می‌شود. از آنجا که تنش اصطحکاکی با توان دوم سرعت رابطه مستقیم دارد،  $\left(\tau_0 = \frac{1}{2} c_d \rho U^2\right)$  در نتیجه تنش اصطحکاکی وارد بر ریپ ریپ‌ها افزایش می‌یابد. از طرفی وجود ریپ ریپ‌ها به علت بالا بردن ضریب زبری باعث ایجاد تلاطم و گردابه‌هایی می‌شود که نقش تنش‌های تلاطمی (رینالدزی) را پررنگ می‌کند. افزایش زاویه دماغه، فشردگی خطوط جریان را به همراه خواهد داشت که باعث افزایش نوسانات سرعت  $(u', v')$  و گرادیان سرعت‌های طولی در جهت عرض  $\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)$  می‌شود. این موضوع افزایش تنش‌های تلاطمی را در بر خواهد داشت  $\left(\tau_t = \rho u' v' = \rho l^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2\right)$ . از آنجا که تنش‌های اصطحکاکی و تلاطمی افزایش می‌یابند، افزایش زاویه دماغه آبشکن ناپایداری ریپ ریپ‌ها را در پی خواهد داشت.



(الف)



(ب)



شکل (۸) تغییرات زاویه دماغه آبشکن T شکل در مقابل

پارامتر اندازه ریپ ریپ

$$\frac{a}{L} = 0.5 \text{ (الف) } \quad \frac{a}{L} = 0.75 \text{ (ب) } \quad \frac{a}{L} = 1 \text{ (ج)}$$

## ۴. بحث و نتیجه گیری

ه) با افزایش زاویه دماغه آبشکن در لحظه شکست ریپ ریپ، نسب عمق جریان به قطر متوسط ریپ ریپ  $\left(\frac{y}{d_{R50}}\right)$  نیز افزایش می‌یابد.

و) با افزایش قطر متوسط ذرات ریپ ریپ در یک زاویه ثابت و در هر طولی از دماغه، عدد فرود جریان در لحظه شکست افزایش می‌یابد که بیانگر پایداری بیشتر ذرات ریپ ریپ درشت تر است.

ز) از آنجا که افزایش زاویه دماغه آبشکن، عدم پایداری ریپ ریپ پیرامون آبشکن‌ها را در بر دارد، زاویه دماغه ۹۰ درجه بهترین زاویه دماغه آبشکن‌های T شکل معرفی می‌گردد.

الف) با افزایش زاویه نسبی دماغه، عدد فرود جریان در لحظه شکست ریپ ریپ کاهش می‌یابد. که این موضوع مستقل از اندازه ریپ ریپ و طول دماغه است.

ب) با افزایش زاویه نسبی آبشکن‌ها عدد فرود دنسیمیتریک ذره رسوبی بستر در لحظه شکست ریپ ریپ کاهش می‌یابد. این موضوع مستقل از طول دماغه است.

ج) با افزایش زاویه دماغه آبشکن عدد پایداری ریپ ریپ کاهش می‌یابد که این موضوع مستقل از اندازه ریپ ریپ و طول دماغه است.

د) با افزایش زاویه نسبی دماغه آبشکن شاخص شکست ریپ ریپ کاهش می‌یابد. این موضوع مستقل از اندازه ریپ ریپ و طول دماغه است.

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).H."Riprap Protection at Bridge Piers." J. Hydra. Eng, Vol. 127, No. 5, pp. 412-418

Melville, B., Ballegooy, S., Coleman, S., and Barkdoll, B. (2007). "Riprap size selection at wing-wall abutments." J. Hydra. Eng, Vol. 133, No. 11, pp 1265–1269.

Morales, R., Etemma, R., and Barkdoll, B. (2008). "Riprap size selection at wing-wall abutments." J. Hydra. Eng., Vol. 134, No. 6, pp 800–809.

Simarro, G. Chreties ,Ch and Teixeria, L, (2011). "RipRap sizing for pile groups." J. Hydra. Eng, doi:10.1061/(ASCE) HY. 1943.1943-7900.0000458

## منابع

Cardoso, A. H., and Cristina, M. S., (2009).H."Protecting Vertical-Wall Abutments with Riprap Mattresses." J. Hydra. Eng, Vol. 135, No. 6, pp 457-465.

Chiew, Y. M. (1995). "Mechanics of riprap failure at bridge piers." J. Hydraul. Eng., 121(9), 635–643.

Dey, S., Chiew, Y. M., and Kadam, M. S., (2008).H." Local Scour and Riprap Stability at an Abutment in a Degrading Bed." J. Hydra. Eng, Vol. 134, No. 10, pp. 1496-1502.

Gisonni, C., and Hager, W. H., (2008). "Spur Failure in River Engineering." J. Hydra. Eng, Vol. 134, No. 2, pp. 135-145.

Hager, W. H., and Oliveto, G. (2002). "Shields' entrainment criterion in bridge piers." J. Hydra. Eng, Vol. 128, No. 5, pp. 538-542.