

## تأثیر پارامترهای هندسی ریپ رپ بر محافظت آبشکن‌ها در قوس 90 درجه

جواد ظهیری<sup>1\*</sup>، سید محمود کاشفی‌پور<sup>2</sup>، محمود شفاعی بجستان<sup>3</sup> و مهدی قمشی<sup>4</sup>

\*1- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

2- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

3- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

4- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: 90/8/3 تاریخ پذیرش: 91/6/20

### چکیده

به دلیل وجود جریان‌های ثانویه در قوس‌ها، قوس بیرونی همواره در معرض تخریب و فرسایش می‌باشد. روش‌های متعددی جهت مقابله با فرسایش قوس بیرونی وجود دارد که یکی از ساده‌ترین و در عین حال اقتصادی‌ترین روش‌ها استفاده از آبشکن می‌باشد. آبشکن به عنوان مانعی در مسیر جریان باعث افزایش تنش برشی شده و افزایش فرسایش و آبستگی در اطراف آبشکن را به همراه خواهد داشت. مطالعات صورت گرفته در زمینه آبشکن‌ها نشان می‌دهد که قسمت دماغه آبشکن بیشتر از مناطق دیگر در معرض آبستگی می‌باشد. جهت پایداری دماغه در این تحقیق از ریپ رپ استفاده شده است. مطمئناً طراحی ریپ رپ با توجه به تأثیر جریان ثانویه و الگوی فرسایش در قوس با کانال مستقیم متفاوت بوده و از نتایج این تحقیق با ضریب اطمینان بیشتری جهت طراحی‌های کاربردی می‌توان بهره برد. پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق شامل قطر ریپ رپ و ابعاد پوشش ریپ رپ می‌باشد. بر این اساس با توجه به استانداردهای موجود محدوده فرسایش پذیر در قوس تعیین گردید. پس از تعیین این محدوده آبشکن‌ها با ابعاد مورد نظر در محدوده فرسایش پذیر قوس قرار گرفته و ریپ رپ‌های مختلف با آرایش‌های متفاوت در اطراف آبشکن‌ها قرار گرفتند. پس از تنظیم دبی جریان، عمق به تدریج کاهش یافته تا با افزایش سرعت شرایط شکست ریپ رپ حاصل شود. با تحلیل نتایج آزمایشات، روابط و گراف‌هایی ارائه گردید که می‌توان از آن‌ها جهت طراحی ریپ رپ در اطراف آبشکن‌ها در قوس استفاده نمود. جهت بررسی کارایی روابط ارائه شده در این تحقیق مقایسه‌ای میان نتایج آزمایشگاهی و تعدادی از معادله‌های ارائه شده توسط محققین مختلف صورت گرفت. نتایج این مقایسه نشان داد که کلیه روابط ارائه شده توسط محققین دیگر به دلیل در نظر نگرفتن جریان‌های ثانویه و گردابه‌های ایجاد شده در اطراف آبشکن‌ها در قوس، اندازه المان‌های ریپ رپ را کمتر از مقادیر به دست آمده در آزمایشات محاسبه می‌کنند. این مقایسه اهمیت تحقیق مورد نظر را نشان می‌دهد.

**کلید واژه‌ها:** جریان‌های ثانویه، قوس، آبستگی، آبشکن، ریپ رپ.

### مقدمه

شعاعی ایجاد می‌گردد. همچنین با ورود جریان به قوس ذرات سیال تحت تأثیر نیروی جانب مرکز قرار می‌گیرند و با توجه به پروفیل قائم سرعت مماسی و اینکه سرعت جریان در سطح آب بیشتر از کف می‌باشد، ذرات در سطح آب، تحت نیروی جانب مرکز بیشتری قرار می‌گیرند. یکی از موارد مهمی که همواره هدف مطالعات گسترده توسط محققین مختلف بوده، نحوه و الگوی آبستگی در قوس خارجی و شیوه‌های مقابله با آن بوده است. از جمله تحقیقات صورت گرفته در زمینه الگوی جریان و آبستگی در قوس می‌توان به تامسون<sup>(1876)</sup> که برای اولین

مکانیزم رودخانه‌ها به گونه‌ای است که مقطع یک رودخانه به مرور زمان دچار تغییرات شدید می‌گردد. این تغییرات به‌ویژه در قوس رودخانه‌ها مشهودتر است. تغییرات در قوس‌ها امر بسیار مهمی بوده و تحقیقات زیادی را در سال‌های اخیر به خود اختصاص داده است. از جمله مهم‌ترین این تحقیقات، می‌توان به پایداری سواحل در قوس‌ها و آبیگری از قوس خارجی اشاره کرد. از مشخصه‌های بارز جریان در قوس رودخانه، وجود جریان ثانویه است که تأثیر به‌سزایی در الگوی جریان و شکل‌گیری بستر روخانه دارد. با ورود جریان به قوس، سطح آب در قوس خارجی نسبت به قوس داخلی بالاتر قرار گرفته و گردان فشار در جهت

دو نوع ماسه مختلف انجام دادند. هدف از این تحقیق طراحی پوشش ریپ جهت مقابله با فرسایش در نزدیکی دیواره‌های عمودی پل تحت شرایط آب زلال بوده است. این محققین اندازه ریپ مورد نیاز جهت محافظت از دیواره را تابع عدد فرود جریان و نسبت طول دیواره به عمق جریان در نظر گرفتند (3). وجه مشترک کلیه این تحقیقات این بود که از کانال‌های مستقیم جهت انجام آزمایشات استفاده گردید. یکی از تحقیقات مهم صورت گرفته در زمینه مقابله با آبستگي در قوس توسط مارتین واید و همکاران<sup>11</sup> (2010) انجام گردید. در این تحقیق کل قوس بیرونی توسط سنگ چین پوشانده گردید. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که ریپ می‌تواند به صورت مؤثر از آبستگي قوس بیرونی بکاهد. ریپ با انتقال خط القعر به سمت مرکز کانال، ساحل بیرونی قوس را محافظت می‌کند. با ریزش المان‌های ریپ به داخل خط القعر، توسعه آبستگي کاهش یافته و ساحل بیرونی کمتر تحت تأثیر فرسایش قرار می‌گیرد (8). گزینه دیگری که جهت مقابله با آبستگي قوس وجود دارد، استفاده از آبشکن بوده که به صورت گسترده در نقاط مختلف جهان به کار می‌رود. از آنجا که آبستگي اطراف دماغه‌های آبشکن در قوس تشدید می‌گردد از ریپ در دماغه آبشکن جهت مقابله با آبستگي استفاده گردید. ساختار آبشکن شباهت بسیار زیادی به تکیه‌گاه‌های پل داشته و بر این اساس اکثر روابط به دست آمده جهت تکیه‌گاه‌های پل برای آبشکن نیز کاربرد دارند. بر همین اساس تعدادی از معادله‌های پیشنهاد شده توسط محققین مختلف در ارتباط با تعیین اندازه المان‌های ریپ در اطراف تکیه‌گاه‌ها در جدول (1) ارائه می‌گردد. در این جدول  $D_r$ : اندازه المان ریپ،  $h$ : عمق جریان،  $S_g$ : چگالی نسبی رسوبات و  $F_r$ : عدد فرود جریان می‌باشد.

هدف از این تحقیق بررسی شرایط شکست ریپ در اطراف آبشکن‌ها در قوس می‌باشد. از آنجا که کلیه مطالعات صورت گرفته در این زمینه مربوط به آبراهه مستقیم بوده، نمی‌توان از نتایج آن‌ها جهت مجاری قوسی استفاده نمود. بر این اساس در این تحقیق معادله‌هایی جهت برآورد اندازه المان‌های ریپ و میزان پوشش مورد نیاز جهت پایداری آبشکن‌ها در قوس ارائه شده است. معادله‌های پیشنهادی با معادله‌های محققین دیگر مقایسه شد تا کارایی آنها تعیین گردد. بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان با توجه به هیدرولیک جریان، اندازه المان‌های ریپ و میزان پوشش ریپ مورد نیاز را تعیین نمود.

### مواد و روش‌ها

فلوم مورد استفاده در این تحقیق یک قوس 90 درجه ملایم با R/B (R: شعاع قوس و B: عرض فلوم) برابر با 4 و عرض 70

بار موضوع جریان‌های ثانویه را مطرح کرد، ایپن و درینکر<sup>1</sup> (1962)، رزوفسکی<sup>2</sup> (1957) و رادکیوی<sup>3</sup> (1976) اشاره کرد (1). از جمله تحقیقات جدید و جامع صورت گرفته در این زمینه نیز می‌توان به بلانکرت و گراف<sup>4</sup> (2001) اشاره نمود. نتایج این محققین نشان می‌دهد الگوی جریان و توربولانت در قوس بسیار متفاوت از آبراهه مستقیم بوده و بر این اساس نمی‌توان نتایج مربوط به مسیر مستقیم را جهت قوس‌ها به کاربرد (2). در زمینه مقابله با آبستگي در اطراف تکیه‌گاه‌ها و پایه‌های پل نیز تحقیقات متعددی صورت گرفته است. چیو<sup>5</sup> (1995) پایداری ریپ 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 ریپ می‌گردند. این سه مکانیزم عبارتند از: گسیختگی ناشی از برش، تخریب زیر سطحی و تخریب لبه‌ای (4). هاگر و الیوتو<sup>6</sup> (2002) با استفاده از مجموعه وسیعی از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به آستانه حرکت و با کمک گرفتن از دیگرام شیلدز به بررسی آستانه حرکت رسوبات در شرایط نزدیک به جریان یکنواخت جهت رسوبات یکنواخت و غیر یکنواخت برای دو دانسیته مختلف پرداختند. هدف اصلی این تحقیق عمومیت دادن شرایط آستانه حرکت معرفی شده جهت المان‌های موجود در کانال بوده است (6). ملویل و همکاران<sup>7</sup> (2007) آزمایش‌هایی را جهت بررسی پایداری ریپ در اطراف دیواره‌ها انجام دادند. هدف از این تحقیق تعیین اندازه مناسب سنگ‌های ریپ جهت مقاومت کردن در مقابل گسیختگی ناشی از نیروی برش جریان بوده است. در این تحقیق تعدادی از معادله‌های ارائه شده توسط دیگر محققین مورد مقایسه قرار گرفت، که بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد رابطه لاگاس و همکاران<sup>8</sup> (2001) بهتر از بقیه روابط توانسته اندازه مناسب ریپ را جهت طراحی پایدار ارائه دهد (10). جیسونی و هاگر<sup>9</sup> (2008) با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی به بررسی تأثیر پارامترهایی از قبیل: طول آبشکن، فاصله آبشکن‌ها، ارتفاع آبشکن به همراه قطر و تعداد ردیف‌های ریپ و تعدادی از پارامترهای هیدرولیکی را بر روی پایداری ریپ در یک کانال مستقیم پرداختند. هدف از این تحقیق ارائه معادله‌هایی جهت تخمین اندازه قطر ریپ و تعداد ردیف‌های آن جهت محافظت از آبشکن بوده است (5). کاردوسو و کریستینا<sup>11</sup> (2009) آزمایشاتی را در یک کانال مستطیلی با بستر ماسه‌ای و چهار طول مختلف دیواره، سه اندازه مختلف ریپ و

- 1- Ippen and Drinker
- 2- Rosovsky
- 3- Raudkivi
- 4- Blanckaert and Graf
- 5- Chiew
- 6- Hager and Oliveto
- 7- Melville et al.
- 8- Lagasse et al.
- 9- Gisonni and Hager
- 10- Cardoso and Cristina

- 11- Martin-Vide and et al.
- 12- Isbash
- 13- Pagan-Ortiz
- 14- Austroads

## جدول 1- معادله‌های ارائه شده جهت تعیین اندازه المان‌های ریپ رپ در اطراف تکیه‌گاه‌های عمودی [9]

معادله اندازه ریپ رپ	موارد استفاده	معادله
$\frac{D_r}{h} = \frac{0.347}{(S_g - 1)} F_r^2$	---	ایسباش (1936)
$\frac{D_r}{h} = \frac{1.05}{(S_g - 1)^{0.81}} F_r^{1.62}$	---	پگان-اورتیز (1991)
$\frac{D_r}{h} = \frac{0.58}{(S_g - 1)} F_r^2$	---	اوسترودس (1994)
$\frac{D_r}{h} = \frac{1.02}{(S_g - 1)} F_r^2$	$F_r \leq 0.8$	لاگاس و همکاران (2001)
$\frac{D_r}{h} = \frac{0.69}{(S_g - 1)} F_r^{0.28}$	$F_r > 0.8$	



شکل 1- نمایی از فلوم قوسی مورد استفاده در این تحقیق

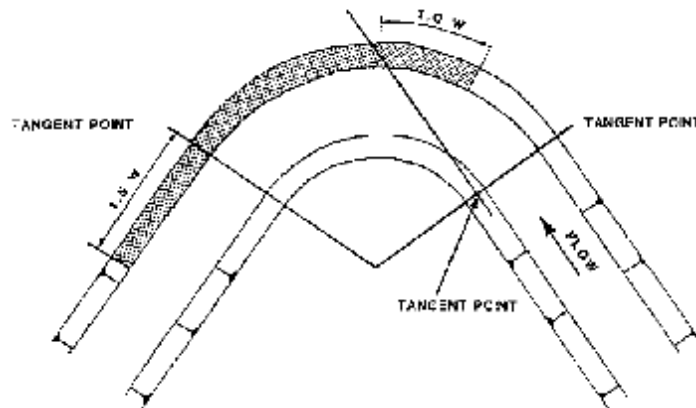
تعیین شده توسط اداره فدرال بزرگراه‌های امریکا<sup>2</sup> در محدوده فرسایش پذیر قرار گرفتند. در این استاندارد زاویه کلیه آبشکن‌ها نسبت به ساحل به جز آبشکن اول 90 درجه بوده و بر قوس خارجی عمود می‌باشند. آبشکن اول به دلیل کاهش میزان تنش برشی با زاویه 150 درجه قرار گرفت (7). طول آبشکن‌ها نیز برابر 20 درصد عرض کانال در نظر گرفته شد و آبشکن‌ها به صورت غیر مستغرق مورد استفاده قرار گرفتند. نحوه چیدمان آبشکن‌ها در قوس و شماتیکی از فلوم مورد استفاده در این تحقیق در شکل (3) ارائه شده است. جهت تعیین آبشکن بحرانی از آزمایش‌های طولانی مدت (10 ساعت) استفاده گردید. پس از آزمایش، پروفیل بستر برداشت شده و آبشکنی که بیشترین آبستگي را داشت به عنوان آبشکن بحرانی انتخاب گردید. البته به دلیل تأثیر پوشش ریپ رپ مربوط به بالادست و پایین دست، علاوه بر آبشکن بحرانی، آبشکن‌های بالادست و پایین دست آن نیز توسط ریپ رپ مورد محافظت قرار گرفتند. در این تحقیق از چهار اندازه مختلف ریپ رپ (0.635، 1.11، 1.43 و 2.06 سانتی‌متر) و همچنین از چهار

سانتی‌متر بوده که کف آن با رسوبات یکنواخت به قطر متوسط 1/49 میلی‌متر پوشانده شده است. طول قسمت مستقیم در بالادست 5 متر و در پایین دست قوس 3 متر در نظر گرفته شد. نمایی از فلوم مورد استفاده در شکل (1) ارائه شده است. در این مطالعه جهت بررسی پایداری ریپ رپ در اطراف آبشکن‌ها، ابتدا محدوده فرسایش پذیر قوس با استفاده از روش معرفی شده توسط مهندسی ارتش امریکا<sup>1</sup> تعیین گردید (7). نحوه تعیین این محدوده با توجه به روش مذکور در شکل (2) نشان داده شده است.

بر این اساس در قسمت ورودی قوس، ساحل داخلی را امتداد داده تا قوس را قطع کند. محل کارگذاری اولین آبشکن به اندازه عرض فلوم بالاتر از نقطه تقاطع خواهد بود. محدوده محافظت شده تا 1/5 برابر عرض فلوم پس از انتهای قوس ادامه می‌یابد. بر اساس منابع موجود، معمولاً طول آبشکن را برابر 15-25 درصد عرض آبراهه در نظر می‌گیرند. بر این اساس در این تحقیق از طول آبشکن به اندازه 20 درصد عرض آبراهه استفاده گردید. نحوه قرارگیری آبشکن‌ها و فاصله بین آنها در قوس با توجه به استاندارد

2- Federal Highway Administration

1- U.S. Army Corps of Engineers



شکل 2- تعیین محدوده مورد نیاز به حفاظت در قوس‌ها بر اساس روش مهندسی ارتش آمریکا

$$f\left(\frac{V_o}{\sqrt{gh}}, \frac{w}{h}, \frac{D_r}{h}\right) = 0 \quad (3)$$

دو رابطه فوق کاملاً مشابه هم بوده و تنها تفاوت آنها در جمله اول می‌باشد، به گونه‌ای که در معادله (2)، جمله اول معرف عدد فرود ذره ( $F_d$ ) و در معادله (3)، جمله اول معرف عدد فرود جریان ( $F_r$ ) می‌باشد. قابل توجه است که با توجه به آشفتگی جریان در اطراف آبشکن‌ها، جریان از نوع متلاطم بوده و عدد رینولدز از معادله‌ها حذف گردید.

جهت استخراج معادله‌های مربوط به تعیین اندازه ریپ و میزان پوشش مورد نیاز با داشتن معادله‌های (2) و (3) از نرم افزار SPSS جهت رگرسیون غیر خطی استفاده شد. شکل کلی معادله‌های استخراجی با استفاده از دیدگاه عدد فرود به صورت زیر است:

$$\frac{D_R}{h} = aF_r^a \frac{w^b}{h} \quad (4)$$

$$\frac{w}{h} = aF_r^a \frac{D_R^b}{h} \quad (5)$$

و چنانچه از عدد فرود ذره جهت استخراج معادله‌های استفاده گردد شکل کلی معادله‌ها به صورت زیر خواهد شد:

$$\frac{D_R}{h} = aF_d^a \frac{w^b}{h} \quad (6)$$

$$\frac{w}{h} = aF_d^a \frac{D_R^b}{h} \quad (7)$$

پوشش ریپ ریپ با اندازه‌های (3، 5، 8 و 10 سانتی‌متر) استفاده گردید.

پس از قرار گرفتن پوشش ریپ ریپ، آزمایش شروع شده و دبی به تدریج افزایش یافته تا به دبی از پیش تعیین شده برسد. پس از آن با کاهش تدریجی عمق، لحظه شکست ثبت می‌گردید. شرایط شکست در این تحقیق بر اساس شرایط در نظر گرفته شده توسط جیزونی و هاگر (2008) می‌باشد. بر این اساس شرایط شکست به شرایطی اطلاق می‌گردد که در آن المان‌های چسبیده به آبشکن تحت تأثیر سرعت جریان در راستای افقی یا قائم حرکت کرده و یا در جای خود بلغزند که به صورت چشمی تعیین گردید.

جهت به دست آوردن روابط قابل استفاده در پروژه‌های مربوط به محافظت آبشکن با استفاده از ریپ ریپ در این تحقیق از آنالیز ابعادی استفاده گردید. پارامترهای مورد نظر عبارت بودند از  $B$ : عرض کانال،  $R$ : شعاع قوس،  $b$ : طول آبشکن عمود بر جهت جریان،  $f$ : زاویه بازشدگی آبشکن‌ها،  $f$ : زاویه قرارگیری آبشکن در قوس،  $D_r$ : اندازه المان‌های ریپ ریپ،  $n$ : تعداد ردیف‌های ریپ ریپ،  $d_{50}$ : اندازه متوسط رسوبات بستر،  $g$ : شتاب جاذبه،  $h$ : عمق جریان نزدیک شونده،  $Q$ : دبی جریان،  $V_o$ : سرعت متوسط جریان در لحظه شکست،  $v$ : لزوجت سینماتیکی،  $p$ : دانسیته آب،  $p_s$ : دانسیته رسوبات و  $p_R$ : دانسیته المان‌های ریپ ریپ می‌باشد. بر اساس تئوری  $\pi$  باکینگهام خواهیم داشت:

$$f\left(\frac{B, R, b, q, f, D_r, n, d_{50}}{g, h_o, V_o, n, r, r_s, r_R}\right) = 0 \quad (1)$$

پس از حذف پارامترهای ثابت در آزمایشات:

$$f\left(\frac{V_o}{\sqrt{(S_g - 1)gd_{50}}}, \frac{w}{h}, \frac{D_r}{h}\right) = 0 \quad (2)$$

و یا:

### نتایج و بحث

به این معنی که با افزایش قطر المان‌ها و ابعاد پوشش ریپ‌رپ نیاز به سرعت‌های بالاتری جهت شکست ریپ‌رپ می‌باشد. بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی مشخص شد چنانچه میزان پوشش ریپ‌رپ به گونه‌ای انتخاب شود که تعداد ردیف‌های کمتری (کمتر از سه ردیف) از المان‌های ریپ‌رپ در اطراف آبشکن قرار گیرند، این نوع پوشش نسبت به شکست حساس بوده و پیشنهاد می‌گردد که از پوشش‌هایی با تعداد ردیف‌های بیشتر از سه ردیف استفاده گردد. در این نوع پوشش‌ها روابط ارائه شده میان اندازه المان‌های ریپ‌رپ و عدد فرود ذره برقرار نبوده و نمی‌توان از این روابط استفاده نمود. توجه به این نکته در طراحی‌ها حائز اهمیت است. به طور کلی و به ویژه در پوشش‌های بزرگتر ریپ‌رپ، المان‌های کوچک‌تر به دلیل اینکه عمده شکست آن‌ها از نوع شکست برشی می‌باشد، به همراه جریان به سمت پایین دست حرکت کرده و آبشکن در معرض شکست کامل قرار می‌گیرد ولی در مورد المان‌های درشت‌تر، شکست عمدتاً از نوع غلطشی بوده و المان‌ها در چاله آبستگی ایجاد شده در دماغه پوشش ریپ‌رپ سرازیر شده و نقش حفاظتی خود را به طور کامل از دست نمی‌دهند.

جهت استفاده از نتایج این تحقیق در پروژه‌های مهندسی رودخانه از آنالیز ابعادی استفاده گردید تا بتوان معادله‌هایی جهت اندازه المان‌های ریپ‌رپ و میزان پوشش مورد نیاز در اطراف آبشکن‌ها در قوس ارائه داد. جهت استخراج این معادله‌ها از آنالیز رگرسیون غیر خطی استفاده گردید. با توجه به داده‌های آزمایشگاهی و با استفاده از آنالیز رگرسیون غیرخطی مقادیر ارائه شده در جدول (2) جهت ضرایب و توان‌های معادله‌های (4) تا (7) به دست آمد. برای مقایسه روابط استخراج شده از تعدادی آنالیزهای آماری استفاده شد. از جمله آنالیزهای آماری مورد استفاده می‌توان به ضریب

پارامترهای متغیر در این تحقیق شامل اندازه المان‌های ریپ‌رپ و میزان پوشش ریپ‌رپ در اطراف آبشکن‌ها می‌باشد. در ابتدا سعی شد به مانند مطالعات صورت گرفته در گذشته از قبیل جیزونی و هاگر (2008) تنها در اطراف دماغه آبشکن از ریپ‌رپ استفاده شود. پس از انجام آزمایشات مقدماتی مشخص شد که حتی در دبی‌های پایین نیز هرچند دماغه به دلیل محافظت شدن با استفاده از پوشش ریپ‌رپ سالم مانده ولی بقیه قسمت‌های آبشکن که بدون حفاظت مانده بودند، به سرعت دچار آبستگی می‌گردند. براین اساس در زمان طراحی ریپ‌رپ در اطراف آبشکن‌ها در قوس می‌بایستی این نکته مد نظر قرار گیرد که تمامی قسمت‌های آبشکن توسط ریپ‌رپ پوشانده گردند. پوشش ریپ‌رپ در همه آزمایشات به ضخامت  $2D_f$  بوده است. نحوه چیدمان ریپ‌رپ در اطراف آبشکن‌ها قبل و بعد از شکست در شکل (4) ارائه شده است.

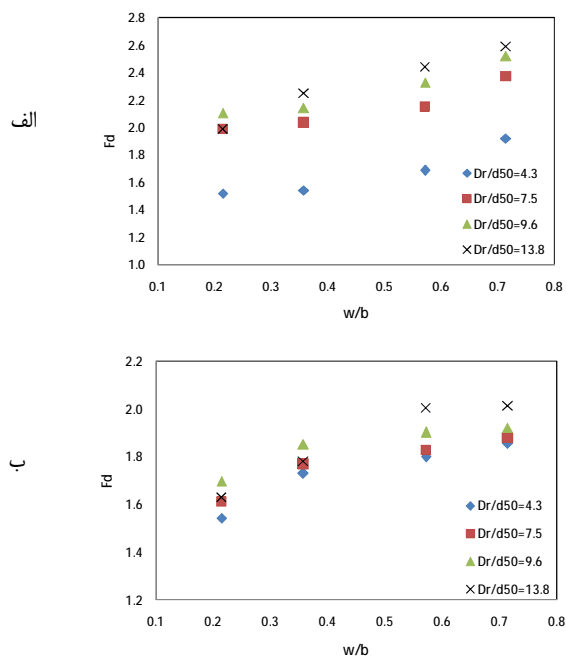
بر اساس آزمایشات بلند مدت مشخص گردید که آبشکن شماره پنج که در یک سوم انتهایی قوس قرار گرفته بود نسبت به دیگر آبشکن‌ها وضعیت بحرانی‌تری دارد. بر این اساس در اطراف این آبشکن از پوشش ریپ‌رپ استفاده گردید. از آنجا که آبشکن دو بلافاصله پس از آبشکن یک قرار گرفته و در آبراهه‌های مستقیم به عنوان آبشکن بحرانی در نظر گرفته می‌شود، در اطراف آن نیز از پوشش ریپ‌رپ استفاده گردید.

اشکال (5) و (6) نشان دهنده تأثیر اندازه المان‌های ریپ‌رپ و میزان پوشش آن بر روی عدد فرود ذره جهت آبشکن‌های دو و پنج می‌باشند. شکل (5) نشان می‌دهد با افزایش قطر المان‌های ریپ‌رپ و میزان پوشش ریپ‌رپ، عدد فرود ذره افزایش می‌یابد.

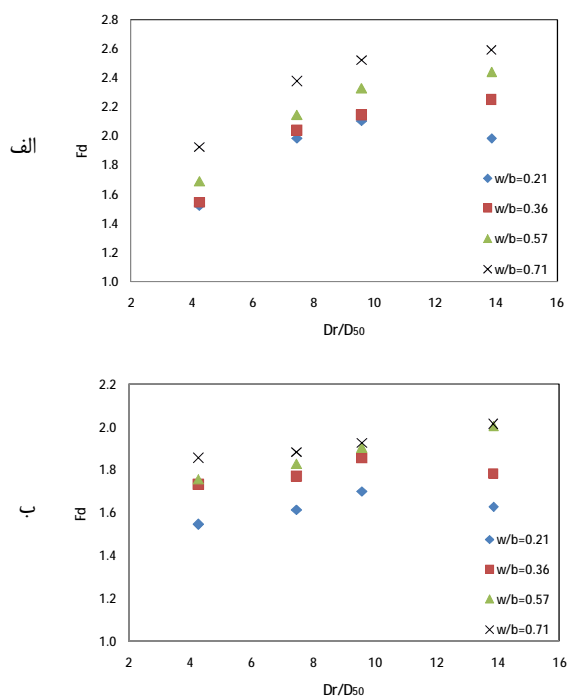


شکل 4- نحوه چیدمان ریپ‌رپ در اطراف آبشکن‌ها: الف) قبل از شکست و ب) بعد از شکست

تعیین<sup>۱</sup>، درصد خطا و جذر میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> اشاره نمود.



شکل 5- تأثیر میزان پوشش ریب بر عدد فرود ذره جهت: الف) آبشکن دو و ب) آبشکن پنج



شکل 6- تأثیر اندازه المانهای ریب بر عدد فرود ذره جهت: الف) آبشکن دو و ب) آبشکن پنج

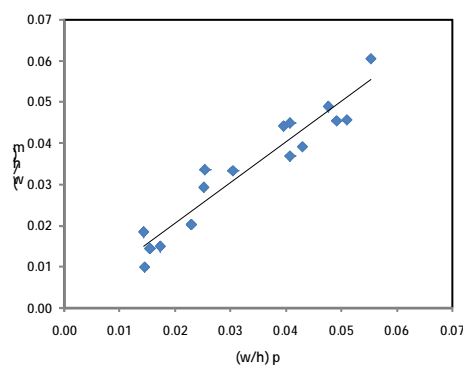
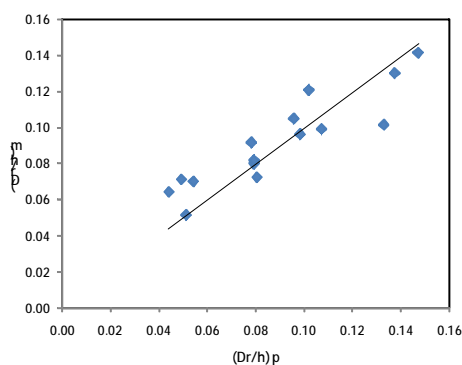
1- Determination Coefficient  
2- Root Mean Square Error

## جدول 2- ضرایب مربوط به معادله‌های (4) تا (7) با استفاده از آنالیز رگرسیون غیر خطی

متغیر	$\alpha$	a	b
$D_R/h$	2.60	3.70	-0.55
w/h	15.56	4.90	-0.33
$D_R/h$	0.03	3.56	-0.41
w/h	0.01	4.38	-0.45

## جدول 3- نتایج آنالیز آماری صورت گرفته برای معادله‌های پیشنهادی

معادله بر مبنای	متغیر	$R^2$	%Error	RMSE
عدد فرود جریان ( $F_r$ )	$D_R/h$	0.13	26.06	0.0009
	w/h	0.71	18.24	0.00005
عدد فرود ذره ( $F_d$ )	$D_R/h$	0.62	15.32	0.0004
	w/h	0.91	11.63	0.00002



## شکل 7- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی مربوط به اندازه المان‌های ریپ و میزان پوشش آن

وجود داشته ولی از آنجا که پارامتر عمق جریان نیز در عدد فرود جریان دخالت دارد باعث شده است که معادله‌هایی که بر اساس عدد فرود ذره استخراج شده‌اند از دقت بالاتری نسبت به معادله‌های استخراج شده با استفاده از عدد فرود جریان برخوردار باشند. بر این اساس معادله‌های پیشنهادی به صورت زیر خواهند بود:

$$\frac{D_R}{h} = 0.03 F_d^{3.56} \left( \frac{w}{h} \right)^{-0.41} \quad (8)$$

نتایج آنالیز صورت گرفته برای معادله‌های (4) تا (7) در جدول (3) ارائه شده است. با توجه به آنالیزهای آماری صورت گرفته که نتایج آن در جدول (3) ارائه شده است، معادله‌هایی که با استفاده از عدد فرود ذره استخراج شده‌اند، از دقت به مراتب بیشتری نسبت به معادله‌های به دست آمده با استفاده از عدد فرود جریان برخوردار بوده و این معادله‌ها به عنوان معادله‌های طراحی پیشنهاد می‌شوند. یکی از دلایلی که باعث شده است معادله‌های استخراج شده با استفاده از عدد فرود ذره نسبت به معادله‌های فرود جریان از دقت بالاتری برخوردار باشند، عدم وجود عمق جریان در عدد فرود ذره می‌باشد.

یکی از مهمترین عوامل شکست ریپ رپ سرعت جریان بوده که هرچند این پارامتر در هر دو عدد فرود جریان و عدد فرود ذره

## جدول 4- نتایج تحلیل‌های آماری صورت گرفته برای معادله‌های پیشنهادی

معادله	R <sup>2</sup>	%Error	RMSE
ایسباش (1936)	0.16	42.35	0.0015
پگان-اورتیز (1991)	0.15	19.95	0.0004
اوستروودس (1994)	0.17	33.58	0.0009
لاگاس و همکاران (2001)	0.17	17.02	0.0003

بررسی دقیق‌تر روابط پیشنهادی توسط محققین مختلف از شکل (8) استفاده گردید. در این شکل مقایسه میان مقادیر آزمایشگاهی به دست آمده در این تحقیق و معادله‌های ارائه شده توسط محققین مختلف نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که کلیه روابط پیشنهادی توسط محققین مختلف اندازه‌های مان‌های ریپ را کوچک‌تر از مقدار واقعی آن برآورد نموده‌اند. مهمترین دلیل این مساله این است که کلیه روابط پیشنهاد شده مربوط به مسیر مستقیم می‌باشند. این در حالی است که وجود جریان‌های ثانویه در قوس باعث افزایش تنش برشی به ویژه در یک سوم انتهایی قوس می‌گردند. ترکیب جریان‌های ثانویه و گردابه‌های تشکیل شده در اطراف آبشکن‌ها باعث تشدید میزان تنش برشی در اطراف آبشکن‌ها می‌گردد. معادله‌های پگان-اورتیز (1991) و لاگاس و همکاران (2001) را با در نظر گرفتن ضرایب ایمنی مناسب می‌توان جهت طراحی استفاده نمود. به عنوان مثال می‌توان جهت رابطه پگان-اورتیز (1991) و لاگاس و همکاران (2001) به ترتیب از ضرایب دو و چهار جهت تعیین اندازه مان‌های ریپ استفاده نمود. بر همین اساس جهت طراحی ریپ در اطراف آبشکن‌ها در قوس نمی‌توان از روابط متداول موجود بدون ضرایب ایمنی مناسب استفاده نمود. از دیگر مزایای روابط ارائه شده در این تحقیق نسبت به روابط متداول موجود دخالت دادن میزان پوشش ریپ در محافظت آبشکن می‌باشد. این در حالی است که در روابط ارائه شده توسط محققین دیگر به تعیین اندازه مان‌های ریپ بر بسنده کرده و تأثیر میزان پوشش ریپ بر محافظت تکیه‌گاه‌ها نادیده گرفته شده است. بر این اساس می‌توان این تحقیق را به عنوان مکمل تحقیقات قبلی در نظر گرفت. بر این اساس جهت محافظت تکیه‌گاه‌ها و آبشکن‌ها در قوس در ابتدا می‌توان با استفاده از رابطه پگان-اورتیز (1991) و یا لاگاس و همکاران (2001) با اعمال ضرایب ایمنی مناسب، ابعاد مان‌های ریپ را تعیین کرده و پس از آن با استفاده از معادله (9) ابعاد پوشش مورد نیاز را محاسبه نمود.

## نتیجه‌گیری

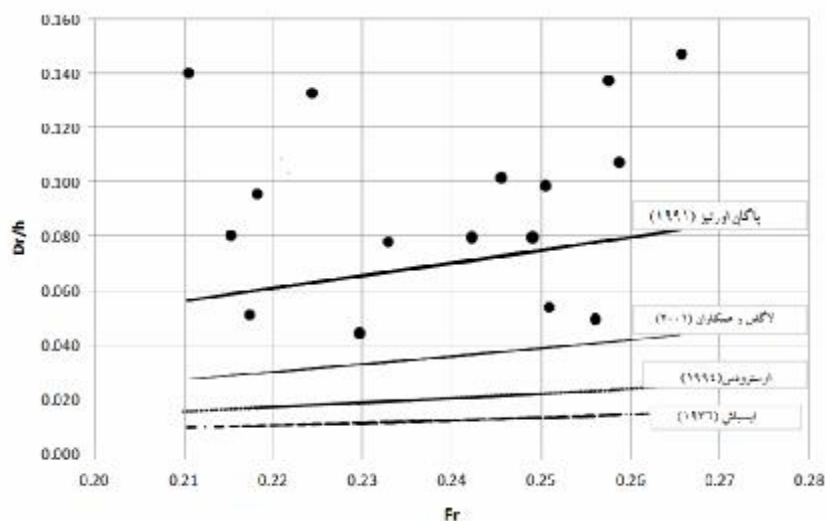
هدف از این تحقیق تعیین اندازه مان‌های ریپ و میزان پوشش آن جهت محافظت از آبشکن‌ها در مقابل آبشستگی در

$$\frac{w}{h} = 0.01 F_d^{4.38} \left( \frac{D_R}{h} \right)^{-0.45} \quad (9)$$

در شکل (7) مقادیر مشاهداتی مربوط به اندازه مان‌های ریپ و میزان پوشش مورد استفاده در آزمایشات در مقابل مقادیر محاسباتی با استفاده از معادله‌های (8) و (9) ارائه شده است. با توجه به گراف‌های ارائه شده، همبستگی نسبتاً خوبی میان مقادیر مشاهداتی و محاسباتی وجود دارد. در شکل‌های زیر اندیس p معرف مقادیر به دست آمده با استفاده از معادله‌های پیشنهادی بوده در حالی که اندیس m معرف مقادیر مشاهداتی می‌باشد. در معادله‌های ارائه شده (معادله‌های (8) و (9)) عدد فرود ذره بیشترین توان را در میان بقیه پارامترها داراست، بر این اساس می‌توان این گونه استنباط نمود که عدد فرود ذره بیشترین تأثیر را بر روی اندازه مان‌های ریپ و میزان پوشش آن دارا می‌باشد.

جهت بررسی کارایی معادله‌های پیشنهادی نسبت به معادله‌های ارائه شده توسط محققین مختلف از تحلیل‌های آماری معرفی شده در فوق جهت سایر معادله‌ها استفاده گردید. از جمله معادله‌های مورد استفاده می‌توان به معادله‌های ایسباش (1936)، پگان-اورتیز (1991)، اوستروودس (1994) و لاگاس و همکاران (2001) اشاره کرد [9]. نتایج مربوط به تحلیل‌های صورت گرفته در جدول (4) آورده شده است. با توجه به جدول (4) مقدار همبستگی میان نتایج آزمایشگاهی به دست آمده و روابط پیشنهادی بسیار کم می‌باشد. این امر نشان‌دهنده اختلاف میان مقادیر مشاهداتی و مقادیر به دست آمده با استفاده از معادله‌های پیشنهادی توسط محققین دیگر می‌باشد. بر اساس تحلیل‌های آماری دیگر، رابطه لاگاس و همکاران (2001) و پگان-اورتیز (1991) نسبت به دیگر معادله‌ها از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. در تحقیق انجام شده توسط ملویل و همکاران (2007) نیز نتایج مشابهی به دست آمد. ملویل و همکاران (2007) در تحقیق خود مقایسه‌ای میان معادله‌های موجود جهت طراحی ریپ در اطراف تکیه‌گاه‌ها انجام دادند که در آن تحقیق دو رابطه فوق به عنوان روابط مناسب جهت طراحی ریپ در اطراف تکیه‌گاه‌ها در آبراهه‌های مستقیم انتخاب گردید. جهت





شکل 8- مقایسه مقادیر مشاهداتی و نتایج به دست آمده با استفاده از معادله‌های ارائه شده توسط محققین مختلف

حفاظت از آبشکن ارائه گردید. بر این اساس می‌توان با داشتن شرایط هیدرولیکی جریان و رسوبات بستر اقدام به طراحی ریپ ریپ مورد نیاز نمود. همچنین در این تحقیق مقایسه‌ای میان نتایج آزمایشگاهی به دست آمده و معادله‌های پیشنهادی توسط محققین دیگر صورت گرفت. نتایج این مقایسه نشان داد که معادله‌های پیشنهادی ابعاد المان‌های ریپ ریپ را کمتر از مقدار مورد نیاز پیش‌بینی کرده‌اند. دلیل این امر پیچیدگی جریان و افزایش تنش برشی به دلیل وجود جریان‌های ثانویه که باعث تشدید گردابه‌ها در اطراف آبشکن‌ها می‌گردند، می‌باشد. این مقایسه اهمیت تحقیق موجود و روابط ارائه شده را نشان می‌دهد.

### قدردانی

بدین وسیله از سازمان آب و برق خوزستان به عنوان حمایت کننده مالی طرح تشکر می‌شود.

قوس بوده است. در آزمایش‌های صورت گرفته مشخص گردید که جهت حفاظت آبشکن‌ها در قوس، نه تنها دماغه در معرض آبشستگی بوده بلکه بقیه قسمت‌های آبشکن نیز می‌بایستی در مقابل آبشستگی محافظت گردند. نتایج نشان داد که در پوشش‌های ریپ ریپ با ابعاد پایین (W پایین)، به دلیل اینکه تعداد ردیف‌های ریپ ریپ مربوط به اندازه‌های درشت‌تر، کمتر می‌باشد، شکست زودتر اتفاق می‌افتد. به تدریج با افزایش میزان پوشش ریپ ریپ، اندازه‌های درشت‌تر مقاومت بیشتری نسبت به شکست از خود نشان می‌دهند. از طرفی در اندازه‌های پایین به دلیل اینکه عمده شکست از نوع شکست برشی می‌باشد، المان‌های ریپ ریپ به همراه جریان به سمت پایین دست حرکت کرده و آبشکن در معرض شکست کامل قرار می‌گیرد ولی در مورد المان‌های درشت‌تر، شکست عمدتاً از نوع غلطشی بوده و المان‌ها در چاله آبشستگی ایجاد شده در دماغه پوشش ریپ ریپ سرازیر شده و نقش حفاظتی خود را به طور کامل از دست نمی‌دهند. با توجه به تحلیل ابعادی صورت گرفته در این تحقیق روابطی جهت تعیین اندازه المان‌های ریپ ریپ و میزان پوشش مورد نیاز جهت

### منابع

- 1- صالحی نیشابوری، ع. ا. و دهقانی، ا. ا. 1384. بررسی الگوی جریان و آبشستگی در دهانه ورودی آبگیر کانال‌های دارای انحنا. طرح تحقیقاتی، سازمان مدیریت منابع آب ایران، معاونت پژوهشی و مطالعات پایه.
- 2- Blanckaert, K. and W. H. Graf. 2001. Mean flow and turbulence in open-channel bend. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(10): 835-847.
- 3- Cardoso, A. H., and M. S. Cristina. 2009. Protecting Vertical-Wall Abutments with Riprap Mattresses. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6): 457-465.

- 4- Chiew, Y. M. 1995. Mechanics of riprap failure at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(9): 635–643.
- 5- Gissoni, C., and W. H. Hager. 2008. Spur Failure in River Engineering. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(2): 135-145.
- 6- Hager, W. H., and G. Oliveto. 2002. Shields' entrainment criterion in bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(5): 538-542.
- 7- Lagasse, P. F., Zevenbergen, L. W., Schall, J. D. and P. E. Cooper. 2001. Bridge scour and stream instability countermeasures. FHWA-NH1-01-003, *Hydraulic Engineering Circular N° 23(HEC-23)*, 2nd Ed., Office of Bridge Technology, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- 8- Martin-Vide, J. P., Roca, M. and C. A. Alvarado. 2010. Bend scour protection using riprap, *Water Management*, 163: 489–497.
- 9- Melville, B. W. and S. E. Coleman. 2000. *Bridge scour*. Water Resources Publications, Littleton, Colo.
- 10- Melville, B., Ballegooy, S., Coleman, S. and B. Barkdoll. 2007. Riprap size selection at wing-wall abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(11): 1265–1269.
- 11- Pagan-Ortiz, J. E. 1991. Stability of rock riprap for protection at the toe of abutments located at the flood plain. FHWA-RD-91-57, Federal Highway Administration, Washington, D.C.