

بررسی حالت‌های مختلف شکست سنگ‌چین‌های محافظ آبشکن مستغرق

ابتهام جاسمی زرگانی*^۱ و سید محمود کاشفی پور^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۶

^۱ دانشجوی دکتری، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز

^۲ استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز

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

چکیده

آبشکن یکی از رایج‌ترین سازه‌های محافظت از سواحل می‌باشد. آبشکن‌ها می‌توانند مستغرق و یا غیرمستغرق باشند، آبشکن‌های مستغرق بیشتر در مسائل کشتیرانی و آبشکن غیر مستغرق در مسائل دیگر کاربرد دارند. این سازه خود در معرض فرسایش در کناره‌ها و دماغه قرار می‌گیرد. جهت مقابله با آبشستگی ایجاد شده در اطراف آبشکن‌ها یکی از ساده‌ترین و در عین حال اقتصادی‌ترین روش‌ها، استفاده از سنگ‌چین است. در این تحقیق به بررسی پایداری سنگ‌چین و تشخیص حالت‌های مختلف شکست سنگ‌چین‌ها جهت محافظت از آبشکن در قوس ۹۰ درجه پرداخته شده است. آزمایش‌ها در یک فلوم ۹۰ درجه ملایم صورت گرفت. پس از تشخیص آبشکن بحرانی در طول قوس، آبشکن بحرانی و آبشکن قبل و بعد از آن نیز با سنگ‌چین‌ها محافظت شدند. ۲۰۰ آزمایش با اندازه‌های مختلف سنگ‌چین، تغییر پارامترهای آبشکن شامل طول، فاصله و ارتفاع آن در اعداد فرود مختلف جریان صورت پذیرفت. در پایان سه نوع شکست غلتشی، لغزشی و زیرسطحی همانند شکست‌های دیده شده در کانال مستقیم و اطراف سایر سازه‌ها، تایید شد و رابطه‌ای برای تعیین نوع شکست در طراحی سنگ‌چین جهت استفاده در مهندسی رودخانه ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: آبشکن، پایداری سنگ‌چین، حفاظت، دیواره رودخانه، قوس ۹۰ درجه

Investigation of Different Modes of Riprap Failure for Submerged Spur Dike

E Jasemi-Zargani^{*1} and SM Kashefipour²

Received: 29 September 2013, Accepted: 6 January 2014

¹Ph.D. Student, Dept. of Hydraulic Structures., Univ. of Shahid Chamran Ahwaz, Iran

²Prof., Dept. of Hydraulic Structures., Univ. of Shahid Chamran Ahwaz, Iran

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

Abstract

Spur dikes are the most common structures for river bank protection. Spur dikes are used in the submerged and non-submerged forms. The submerged type is used when navigation is dominant in a river and in other cases the non-submerged ones are usual. Since construction of this structure causes higher flow velocities around it, this structure is exposed to erosion. Riprap around the dike structure nose is one of the most common and economic ways to protect spur dike. In this study the riprap stability and different modes of riprap failure in a mild 90-degree bend have been investigated. Experiments were conducted in a laboratory flume with a 90-degree bend. After specifying the critical spur dike along the bend, this one and the other two spurs setted before and after the critical one were protected by riprap. The variables were the length of the structure, spur spacing and height, riprap size and different Froude numbers, with a total of 200 experiments being carried out in this flume. Three modes of riprap failure including rolling, sliding and undermining as had been detected for straight channels and other hydraulic structures in the literature, were verified and finally an equation was developed to determine the mode of failure, which would be probably useful for designing riprap in real river engineering projects.

Key words: Protection, Riprap stability, River bank, Spur dikes, 90°-bend

یا در دو سمت رودخانه احداث می‌گردند. آبشکن‌ها می‌توانند مستغرق و یا غیرمستغرق باشند، آبشکن‌های مستغرق بیشتر در مسائل کشتیرانی و آبشکن غیر مستغرق در مسائل آبخیزداری کاربرد دارند. کارایی اصلی آبشکن‌های رودخانه‌ای، انحراف جریان از کناره رودخانه و هدایت آن به سمت مجرای اصلی است. نتیجه انحراف جریان، توسعه یک ناحیه چرخشی با تلاطم شدید در پیرامون آبشکن است که به صورت گسترده‌تری در پایین دست آبشکن ظاهر می‌گردد

مقدمه

مکانیزم رودخانه‌ها به گونه‌ای است که مقطع یک رودخانه به مرور زمان دچار تغییرات شدید می‌گردد. این تغییرات به ویژه در قوس رودخانه‌ها مشهودتر است. یکی از راه‌های تثبیت دیواره در قوس خارجی استفاده از سازه‌ای به نام آبشکن^۱ است. آبشکن‌ها به صورت منفرد یا به صورت یک سری متوالی، در یک و

¹ Spur dike

ناحیه جدایی و گردابه پایین دست می‌شود. بر اساس نظر لاگاس و همکاران (۲۰۰۱) شکست سنگچین به سه دسته تقسیم می‌شود که شامل فرسایش المان‌های سنگچین، فرسایش زیرسطحی و فرسایش توده‌ای می‌باشد. فرسایش المان‌های سنگچین تحت تأثیر اندازه سنگ‌های سنگچین در مقایسه با نیروهای هیدرودینامیکی و آشفتگی می‌باشد، هر چند شیب سنگچین، ضربه، سایش، یخ و موج نیز می‌توانند باعث این نوع تخریب شوند. براساس نتایج آزمایشگاهی چپو (۱۹۹۵) سه مکانیزم متفاوت در ناپایداری سنگچین در اطراف پایه پل نقش دارند که این سه مکانیزم عبارتند از: گسیختگی ناشی از برش، تخریب زیر سطحی و تخریب لبه‌ای. آنگر و هگر (۲۰۰۶) به بررسی شکست سنگچین‌های محافظ پایه پل دایره‌ای پرداختند آنان سه مکانیزم مختلف شکست لغزشی، تخریب زیر سطحی و غلتشی را جهت سنگچین اطراف پایه‌های پل معرفی کردند. گیسونی و هگر (۲۰۰۸) بر روی نقش سنگچین در محافظت آبشکن‌ها در کانال مستقیم آزمایشاتی را انجام دادند. آن‌ها سه مکانیزم غلتشی، لغزشی و زیر سطحی را شناسایی کردند که از این سه مکانیزم تنها لغزش و تخریب زیر سطحی در سنگچین اطراف آبشکن‌ها مشاهده گردید و رابطه‌ای را برای تعیین نوع شکست سنگچین براساس پارامترهای آبشکن تعریف نمودند. بختیاری و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تأثیر پارامترهای هندسی آبشکن و عمق کارگذاری سنگچین بر روی پایداری سنگچین‌ها در یک قوس ۹۰ درجه ملایم در شرایط غیر مستغرق پرداختند. افزایش کارگذاری سنگچین در عمق بیشتر موجب افزایش پایداری سنگچین‌ها و در نتیجه پایداری آبشکن‌ها و محافظت سواحل می‌گردد. ظهیری و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی هیدرولیک جریان و پایداری سنگچین اطراف آبشکن‌ها در قوس ۹۰ درجه در شرایط غیر مستغرق پرداختند، با آنالیز نتایج آزمایشات، روابط و گراف‌هایی جهت طراحی سنگچین در اطراف آبشکن‌ها در قوس ارائه گردید.

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر مشترک عوامل هندسی آبشکن و شرایط هیدرولیکی جریان در نحوه

فرآیند هیدرولیکی این جریان، توسعه حفره آبشستگی در پیرامون آبشکن و ته نشست بار رسوبی در پایین دست و کناره رودخانه است. آبشستگی یک خطر جدی برای سازه آبشکن و در نتیجه برای رودخانه محسوب می‌شود. در خصوص جنبه‌های مختلف آبشکن‌ها به عنوان مثال بررسی وضعیت قرار گیری آبشکن‌ها، اندازه آبشکن‌ها، زاویه قرار گیری آن‌ها در مسیره‌های مستقیم و غیر مستقیم تحقیقات گوناگونی صورت گرفته است. ولی تا کنون در خصوص پایداری آبشکن‌ها تحقیقات زیادی صورت نگرفته و تحقیقات اندک موجود غالباً در مسیر مستقیم بوده است، در حالی که عمده‌ترین کاربرد استفاده از آبشکن‌ها در قوس‌ها می‌باشد. 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 سنگچین^۱ می‌باشد. مطالعه پایداری و شناخت حالت‌های مختلف شکست سنگچین محافظ آبشکن ضروری می‌باشد. شکری (۱۹۵۰) برای اولین بار با اندازه‌گیری سه بعدی جریان، اثر مشخصات مختلف هندسی مانند $\frac{\theta}{180}$, $\frac{h}{B}$, $\frac{r_c}{B}$ (θ زاویه مرکزی قوس، h عمق جریان، B عرض کانال و r_c شعاع متوسط قوس) بر شکل گیری جریان ثانویه در قوس با بستر ثابت و متحرک را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. ایشان نشان داد که: با افزایش r_c/B ، قدرت جریان ثانویه کاهش می‌یابد، با افزایش θ ، قدرت جریان ثانویه افزایش می‌یابد و این افزایش برای $0 \leq \theta \leq 90$ دو برابر این مقدار برای $90 \leq \theta \leq 180$ می‌باشد. واقفی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی چاله آبشستگی اطراف آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه پرداختند و تأثیر شعاع انحنا را نیز مورد آزمایش قرار دادند آن‌ها دریافتند که با افزایش شعاع انحنا قوس طول ناحیه جادشدگی و طول گردابه بالادست افزایش می‌یابد و باعث کاهش عرض

^۱ Riprap

که در آن V سرعت متوسط مقطع، S_0 شیب سطح آزاد آب و R_h شعاع هیدرولیکی می‌باشد. با توجه به رابطه استریکلر می‌توان ضریب زبری مانینگ (n) را بر حسب اندازه متوسط ذره (اندازه ذره بر حسب متر) نوشت. پس از آن عدد فرود آستانه حرکت ذره $F_d = V / (g'd_{50})^{1/2}$ به شکل رابطه ۳ خواهد بود:

$$F_d = 6.75 T_i^{1/2} \frac{R_h}{d_{50}} \quad [3]$$

بر این 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. آنگر و هگر (۲۰۰۶) برای ذرات بستر ۱/۱ میلی‌متر و ۵ میلی‌متر که در دو رژیم مختلف جریان انتقالی و آشفته می‌باشد آزمایشاتی را برای پایه پل انجام دادند و تفاوتی را در شرایط شیلدز مشاهده نکردند.

هگر و اولیوتو (۲۰۰۲) برای رژیم جریان آشفته نشان دادند که:

$$[\sigma^{-1/3} V / (g'd_{50})^{1/2}] = [1.65 (R_h/d_{50})^{1/6}] \quad [4]$$

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

می‌باشد، d_{84} اندازه ذره‌ای است که ۸۴ درصد ذرات از آن کوچکتر هستند و d_{16} قطر ذره‌ای است که ۱۶ درصد ذرات از آن کوچکتر می‌باشند.

بر اساس نظر گیسونی و واکا (۲۰۰۵) در صورتی که مانعی در رسوبات جاسازی شده باشد، تنش برشی بحرانی بستر و یا سرعت آستانه حرکت کم می‌گردد که این کاهش تنش برشی بحرانی و سرعت آستانه حرکت به دلیل ایجاد توربولانت اضافی است. بنابراین آن‌ها مشخصات آبشکن جانبی که شامل نسبت‌های انسداد و ارتفاع نسبی آبشکن می‌باشد را مورد توجه قرار دادند، بر این اساس فاکتور بار

شکست سنگ‌چین‌ها در شرایط مستغرق و تعیین مرزهای مختلف نوع شکست سنگ‌چین اطراف دماغه آبشکن در قوس ۹۰ درجه ملایم بوده است.

تئوری حاکم

شیلدز (۱۹۳۶) دیگرامی ارائه داد که در آن عدد

رینولدز ذره $R_* = \frac{u_* d_s}{\nu}$ را به پارامتر انتقال یعنی

$T_i = \frac{\tau_i}{(\rho_s - \rho)gd_s}$ مربوط می‌سازد. در این روابطه

u_* سرعت برشی، d_s قطر ذره، ν لزجت سینماتیک سیال، τ_i تنش برشی آستانه، ρ_s جرم واحد حجم رسوبات، ρ جرم واحد حجم مایع و g شتاب ثقل می‌باشد. اگر چه 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. هگر و دل‌جودس (۲۰۰۰) بر اساس عدد بی بعد اندازه ذره $D_* = (g' / \nu^2)^{1/3} d_{50}$ محدوده مورد نظر را به سه قسمت تقسیم کردند. در این رابطه $g' = [(\rho_s - \rho) / \rho] g = \rho' g$ قطر متوسط رسوبات بستر و g' شتاب مؤثر است، بر اساس رابطه هگر و دل‌جودس (۲۰۰۰) دیگرام شیلدز را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

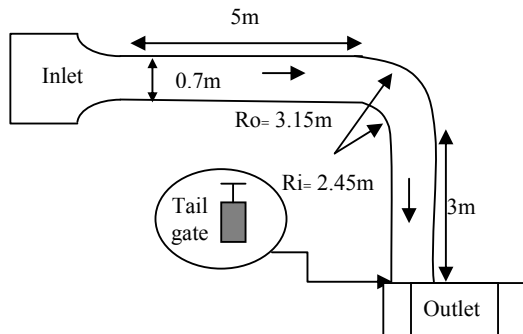
$$\begin{aligned} T_i &= 0.120 D_*^{-1/2} & D_* \leq 10 \\ T_i &= 0.026 D_*^{1/6} & 10 < D_* < 150 \\ T_i &= 0.060 & D_* \geq 150 \end{aligned} \quad [5]$$

در معادلات فوق $T_i = \frac{\tau_i}{(\rho_s - \rho)gd_s} = \frac{S_0 R_h}{\rho' d_{50}}$ به

عنوان تنش برشی بی بعد 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.

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

مستقیم ورودی فلوم ۵ متر و مسیر مستقیم خروجی به طول ۳ متر و بخش قوس آن نیز حدود ۳ متر است، برای تنظیم عمق، دریچه کشویی در پایین دست فلوم وجود دارد. در شکل ۱ نمایی از فلوم آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۱- تجهیزات آزمایشگاهی.

در این آزمایشات از آبشکن‌های با جنس پلکسی به ضخامت یک سانتی‌متر استفاده شد. طول‌های مورد آزمایش سری آبشکن‌ها در این تحقیق معادل ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد عرض کانال آزمایشگاهی، به ترتیب ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ سانتی‌متر، فاصله‌های طولی میان آبشکن‌ها در این آزمایش معادل ۳، ۴ و ۵ برابر طول آبشکن، شش اندازه مختلف سنگ‌چین با (d_{50}) معادل ۵/۵، ۷/۹، ۱۱/۱، ۱۴/۳، ۱۷/۹، ۲۲/۲ میلی‌متر و ۴ محدوده دبی برای ایجاد استغراق‌های مختلف برابر با ۲۵، ۲۹، ۳۲ و ۳۶ لیتر در ثانیه انتخاب گردید. ارتفاع نسبی آبشکن $(S = s/h)$ در این آزمایشات از ۰/۶ تا ۰/۹ بوده است. ارتفاع آبشکن برابر با ۶/۵، ۸/۵ و ۱۰/۵ سانتی‌متر در آزمایشات استفاده شد. در تمامی آزمایشات ضخامت لایه سنگ‌چین برابر با $2d_R$ و پوشش آن اطراف آبشکن ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، رسوبات بستر دارای قطر ۱/۵ میلی‌متر با $\sigma = 1.22$ می‌باشد. مجموعاً ۲۰۰ آزمایش برای تعیین نوع شکست صورت پذیرفت، نحوه انجام آزمایشات به این ترتیب بود که پس از نصب آبشکن‌ها ابتدا جریان در آستانه حرکت رسوبات برقرار شد تا ناحیه بحرانی و آبشکن بحرانی مشخص گردد.

هیدرولیکی (R_s) با در نظر گرفتن (V) به عنوان سرعت مقطع جریان در لحظه شکست سنگ‌چین، به صورت زیر تعریف کردند:

$$R_s = \left[\sigma^{-1/3} V / (g d_{50})^{1/2} \right] \left[1.65 (R_h / d_{50})^{1/6} \Phi_s \right] \quad [5]$$

در معادله فوق Φ_s مشخصات هندسی آبشکن بوده و به صورت تابعی از حاصل ضرب نسبت انسداد و ارتفاع نسبی آبشکن می‌باشد. با توجه به مطالعات آنگر و هگر (۲۰۰۶) در شرایط مستغرق، مقدار این پارامتر معادل $\Phi_s = \left[1 - \frac{5}{6} (\beta S)^{5/16} \right]$ در نظر گرفته شد.

$(\beta = b/B)$: نسبت طول آبشکن به عرض آبراهه یا نسبت انسداد است که تنگ‌شدگی مقطع عبوری جریان را تعریف می‌نماید. $(S = s/h)$: ارتفاع نسبی آبشکن می‌باشد که در آن s ارتفاع آبشکن و h عمق جریان در بالادست در لحظه شکست سنگ‌چین است. ارتفاع نسبی آبشکن نشان می‌دهد زمانی که عمق جریان با ارتفاع آبشکن برابر است این پارامتر برابر ۱ و در شرایط مستغرق از ۱ کمتر می‌شود، بنابراین حداکثر مقدار ارتفاع نسبی آبشکن با این تعریف برابر با ۱ است (عکس مقدار ارتفاع نسبی آبشکن بیانگر میزان استغراق می‌باشد). از پارامترهای مؤثر دیگر می‌توان به نسبت اندازه سنگ‌چین به رسوبات بستر $\left(\delta = \frac{d_R}{d_{50}} \right)$ ، نسبت فاصله آبشکن‌ها به عمق جریان $\left(\frac{L}{h} \right)$ ، نسبت قطر سنگ‌چین به عمق جریان $\left(\frac{d_R}{h} \right)$ اشاره نمود که در پایداری سنگ‌چین بسیار تأثیرگذار می‌باشند.

مواد و روش‌ها

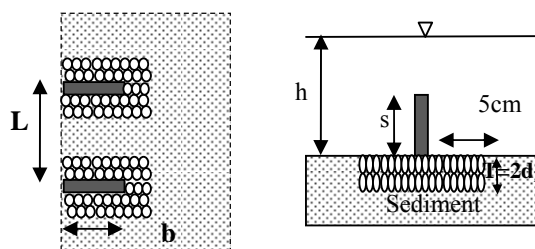
تجهیزات آزمایشگاهی و طرح آزمایش‌ها

فلوم مورد استفاده در این تحقیق یک فلوم قوسی ۹۰ درجه ملایم با طول ۱۱ متر و عرض ۰/۷ متر با نسبت شعاع به عرض فلوم برابر ۴ می‌باشد. مسیر

¹ Hydraulic load factor

می‌گردید تا با افزایش سرعت جریان شکست سنگ‌چین رخ دهد. منظور از شکست سنگ‌چین حرکت افقی و یا عمودی نزدیک‌ترین المان‌ها به آبشکن می‌باشد. در این زمان سنگ‌چین‌ها ناپایدار بوده و به حرکت در می‌آیند. در لحظه شکست عمق در بالادست فلوم ثبت شده و نوع شکست اتفاق افتاده یادداشت می‌شد. آزمایش به پایان می‌رسید و شرایط برای انجام آزمایش بعدی آماده می‌شد. در شکل ۲ آرایش سنگ‌چین‌های اطراف آبشکن قبل و پس از شکست نشان داده شده است.

آبشکنی بحرانی است که رسوبات بستر اطراف آن سریع‌تر حرکت نمایند و چاله آبشستگی ایجاد گردد. سپس سنگ‌چین‌ها در اطراف آبشکن بحرانی قرار داده شد، بجز آبشکن بحرانی، آبشکن قبل و بعد از آبشکن بحرانی نیز با سنگ‌چین‌ها محافظت شدند. در این مرحله از انجام آزمایشات ابتدا دریچه پایین دست کاملاً بسته می‌شد سپس دبی و عمق به آرامی افزایش داده می‌شد تا شرایط شکست سنگ‌چین و حرکت رسوبات بستر حاصل نشود. پس از رسیدن به دبی از پیش تعیین شده، با باز کردن دریچه عمق جریان به آرامی کم



شکل ۲- آرایش سنگ‌چین اطراف آبشکن، سنگ‌چین‌های اطراف آبشکن پس از شکست.

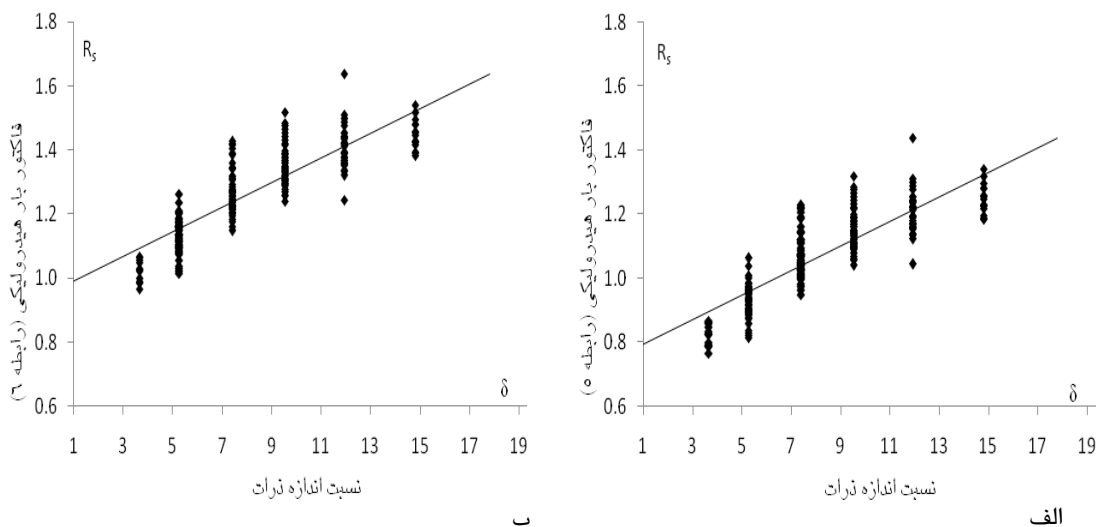
محاسبه شده از رابطه ۵ را در برابر نسبت اندازه سنگ‌چین نشان می‌دهد هنگامی که $(\delta = 1)$ است به این معنی است که هیچ سنگ‌چینی وجود ندارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود فاکتور بار هیدرولیکی به اندازه 0.2 برای قوس حاضر کمتر محاسبه شده است که دلیل آن وجود نیروی گریز از مرکز در قوس می‌باشد. در نتیجه رابطه گیسونی و هگر (۲۰۰۸) را نمی‌توان به همان شکل تعریف شده در رابطه ۵ برای قوس بکار برد. بنابراین فاکتور بار هیدرولیکی در قوس به صورت زیر می‌تواند تصحیح شود (شکل ۳- ب).

مقدار 0.2 تابعی است از شعاع انحنای قوس و زاویه قوس، از آنجا که این تحقیق در یک قوس 90° درجه ملایم با نسبت شعاع به عرض به 4 صورت گرفته نمی‌توان رابطه‌ای را برای این عدد استخراج نمود.

نتایج و بحث

فاکتور بار هیدرولیکی

بر اساس اصول ارائه شده حاکم بر آستانه حرکت رسوبات در شرایط حضور آبشکن، می‌توان از فاکتور بار هیدرولیکی استفاده نمود، گیسونی و هگر (۲۰۰۸) رابطه فاکتور بار هیدرولیکی (رابطه ۵) را در کانال مستقیم در حضور آبشکن ارائه دادند. فاکتور بار هیدرولیکی زمانی که هیچ سنگ‌چینی برای محافظت آبشکن وجود نداشته باشد برابر با یک است $(R_s = 1)$ که نشان دهنده این مطلب می‌باشد که رسوبات بستر در آستانه حرکت قرار گرفته‌اند. مطالعه حاضر در یک فلوم 90° درجه ملایم با $R/B = 4$ انجام شده است. در رابطه ۵ پارامتر تأثیر حضور آبشکن در بار هیدرولیکی دیده شده ولی پارامتری برای تأثیر قوس در این معادله وجود ندارد. شکل ۳- الف فاکتور بار هیدرولیکی



شکل ۳- الف) نسبت اندازه ذره (مسیر مستقیم) در برابر فاکتور بار هیدرولیکی (رابطه ۵)، ب) نسبت اندازه ذره در تحقیق حاضر (قوس) در برابر فاکتور بار هیدرولیکی.

حالات شکست سنگچین

بر پایه تحقیقات وارشنی و گارده (۱۹۷۵) و چودری و ناراسیمهان (۱۹۷۷) وقتی نسبت $\frac{R}{B}$ در یک قوس بیشتر از $\frac{3}{5}$ باشد توزیع تنش برشی در مقطع ورودی قوس تقریباً یکنواخت بوده و منطقه حداکثر تنش در قسمت خروجی قوس و دیواره خارجی آن اتفاق می‌افتد. هرگاه این نسبت کمتر از $\frac{3}{5}$ گردد، در دو منطقه تنش حداکثر به وجود خواهد آمد که یکی در قسمت خروجی قوس و دیواره خارجی آن و دیگری در قسمت ورودی قوس و دیواره داخلی آن دیده می‌شود. در این تحقیق نسبت $\frac{R}{B}$ در فلوم آزمایشگاهی برابر با ۴ است بنابراین منطقه حداکثر تنش در قسمت خروجی قوس و دیواره خارجی آن اتفاق می‌افتد. با توجه به آزمایشات تشخیصی آبشکن بحرانی، محل این آبشکن در انتهای قوس دیده شد. به دلیل وجود نیروی گریز از مرکز جریان در کف بستر از قوس خارجی به سمت قوس داخلی است بنابراین شکست سنگچین‌ها در قوس سریع‌تر از مسیر مستقیم اتفاق می‌افتد. سه مکانیزم برای شکست سنگچین شناسایی شد که

عبارتند از: ۱) شکست غلتشی^۱ ۲) شکست لغزشی^۲ ۳) تخریب زیر سطحی^۳. شکست از نوع غلتشی برای المانهای کوچک سنگچین و عمق‌های زیاد اتفاق افتاد در این نوع شکست سنگچین‌ها مانند رسوبات بستر با حرکت غلتشی به سمت پایین دست حرکت کردند. شکست از نوع لغزشی زمانی اتفاق می‌افتد که المان‌های سنگچین درون چاله آبستگی میان رسوبات و پوشش سنگچین حرکت می‌کنند که این نوع شکست برای سنگچین زمانی رخ می‌دهد که نسبت قطر سنگچین به قطر رسوبات (δ) نسبتاً کوچک باشد. در حالی که، تخریب زیر سطحی برای مقادیر بزرگ (δ) رخ می‌دهد فرسایش زیر سطحی زمانی اتفاق می‌افتد که مواد بستر که ریزتر از المان‌های سنگچین می‌باشند از بین خلل و فرج سنگچین خارج شده و باعث نشست سنگچین گردند. استفاده از فیلتر تا حد زیادی این نوع فرسایش را کاهش می‌دهد. فرسایش توده‌ای نیز زمانی اتفاق می‌افتد که قسمت عظیمی از المانهای سنگچین و

¹ Rolling

² Sliding

³ Undermining

شکست‌های زیرسطحی و لغزشی تعریف نمودند. در شکل ۴ ارتباط میان فاکتور بار هیدرولیکی سنگ‌چین (R_s) و فاکتور شکست سنگ‌چین (Λ) در مسیر قوسی (تحقیق حاضر) و مسیر مستقیم (تحقیق گیسونی و هگر ۲۰۰۸) مورد بررسی قرار گرفته است.

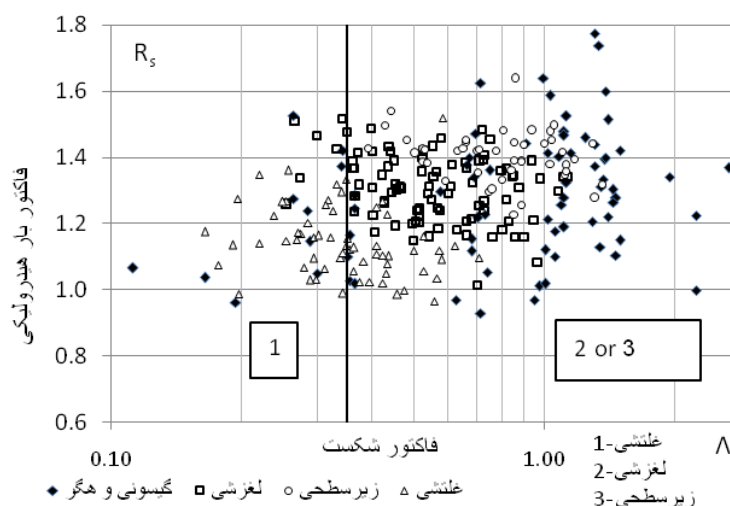
در قوس علاوه بر مقدار سرعت، جهت سرعت نیز تغییر می‌نماید. بنابراین جهت بردارهای جریان متفاوت با جهت این بردارها در مسیر مستقیم می‌باشد. این امر باعث می‌شود که در قوس همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود شکست غلشی بیشتر از این نوع شکست در مسیر مستقیم دیده شود. با توجه به تقسیم بندی عنوان شده نمی‌توان فاکتور شکست را برای مطالعه حاضر صحیح دانست همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود نمی‌توان به خوبی مرزی برای حالت‌های مختلف شکست در قوس مشخص نمود.

یا مواد بستر تحت تأثیر نیروهای ثقلی لغزیده و یا ریزش کنند، در این تحقیق شکست توده‌ای نیز دیده شد، با توجه به نوع حرکت المان‌های سنگ‌چین در یکی از این ۳ حالت مختلف شکست قرار داده شد.

پارامترهای هندسی آبشکن و هیدرولیک جریان تأثیر بسزایی در پایداری سنگ‌چین دارد لذا می‌توان با ترکیب این پارامترها، فاکتوری به نام حالت شکست تعریف نمود. این پارامتر را گیسونی و هگر (۲۰۰۸) به صورت زیر تعریف کردند:

$$\Lambda = \left[\left(\frac{b}{B} \right) \left(\frac{s}{h} \right) \left(\frac{L}{h} \right) \right] \quad [V]$$

در این رابطه: b : طول آبشکن، B : عرض کانال آزمایشگاهی، s : ارتفاع آبشکن، h : عمق جریان در لحظه شکست و L : فاصله طولی آبشکن‌ها است. آن‌ها $\Lambda = 0.35$ را به عنوان مرز بین شکست غلشی با



شکل ۴- فاکتور بار هیدرولیکی در برابر پارامتر حالت شکست.

تأثیر قرار می‌گیرد. پارامتر دیگر ارتفاع نسبی آبشکن می‌باشد که با S نشان داده می‌شود این پارامتر بیانگر عکس نسبت استغراق است. کاهش این نسبت بیانگر افزایش عمق آب بر روی آبشکن می‌باشد. با افزایش عمق آب جریان‌های گردابی شکل گرفته تغییر کرده و ریزش جریان از روی آبشکن و جهت آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد که این امر پایداری سنگ‌چین و نوع

پارامترهای آبشکن در رخ داد حالت‌های مختلف شکست سنگ‌چین بسیار تأثیر گذار می‌باشند. پارامتر نسبت انسداد با β نمایش داده می‌شود. این پارامتر یکی از تأثیر گذارترین پارامترهای آبشکن بر پایداری سنگ‌چین اطراف آبشکن است. با افزایش نسبت انسداد به دلیل تنگتر شدن مجرای عبور آب و تغییر جهت جریان شکست سریعتر اتفاق افتاده و نوع شکست تحت

شکل ۵ فاکتور بار هیدرولیکی را در برابر فاکتور جدید شکست نشان می‌دهد. با توجه به نمودار حالت‌های مختلف شکست را به خوبی می‌توان دسته بندی کرد بنابراین سه دسته برای حالت‌های مختلف شکست به صورت زیر تعریف می‌شود:

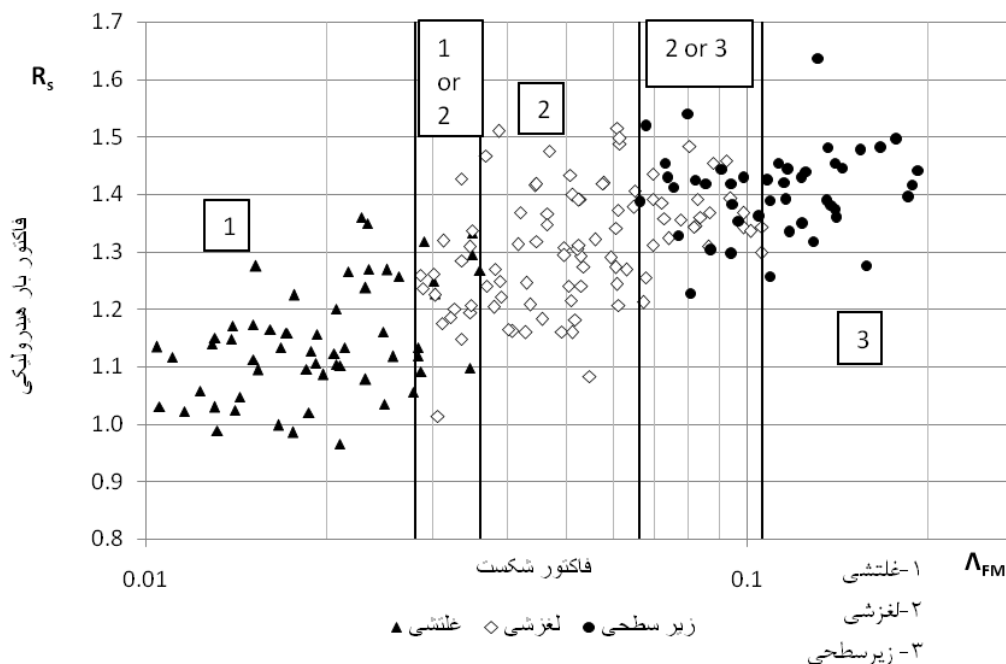
- ۱- غلتیدن $\Lambda_{FM} \leq 0.028$
- ۲- لغزشی $0.036 \leq \Lambda_{FM} \leq 0.066$
- ۳- زیرسطحی $\Lambda_{FM} \geq 0.106$

در فاصله بین شکست غلتشی و لغزشی شکست به صورت بینابینی اتفاق می‌افتد و احتمال رخ داد هر دو نوع شکست وجود دارد. در آزمایشات دیده شد که در یک عدد فرود ثابت $Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$ می‌توان سه نوع شکست را مشاهده نمود که این امر بستگی به اندازه المان‌های سنگ‌چین دارد.

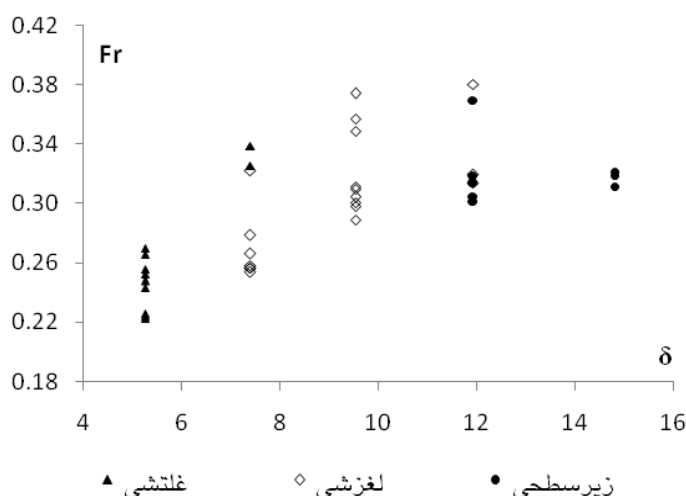
شکست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از پارامترهای دیگر آبشکن که بر جریان و نوع شکست تأثیر گذار است می‌توان فاصله آبشکن‌ها را نام برد، با زیاد و کم شدن فاصله بین آبشکن‌ها ۶ نوع جریان با گرداب‌های متفاوت در فاصله بین آبشکن‌ها اتفاق می‌افتد که هر یک از آنها با توجه به جهت جریان و تعداد گردابه تشکیل شده بر پایداری سنگ‌چین و نوع شکست تأثیر گذار می‌باشند. این پارامتر در این تحقیق نسبت به عمق جریان بی‌بعد شده است.

یکی از پارامترهای تأثیر گذار در حالت شکست قطر سنگ‌چین می‌باشد که فقدان آن در رابطه معرفی شده محسوس است بنابراین فاکتور جدید شکست به صورت زیر معرفی می‌شود:

$$\Lambda_{FM} = \left[\left(\frac{b}{B} \right) \left(\frac{s}{h} \right) \left(\frac{L}{h} \right) \left(\frac{d_R}{h} \right) \right] \quad [A]$$



شکل ۵- فاکتور بار هیدرولیکی در برابر فاکتور حالت شکست.



شکل ۶- عدد فرود جریان در برابر نسبت اندازه سنگ‌چین به رسوبات بستر در دبی ۳۲ لیتر در ثانیه.

شکست سنگ‌چین استفاده شد. آزمایش‌ها در فلوم دارای قوس ملایم ۹۰ درجه به طول ۱۱ متر صورت پذیرفت. تغییر پارامترهای آبشکن در شکست سنگ‌چین تأثیرگذار بوده و می‌توان رابطه‌ای را با توجه به این پارامترها تعریف نمود که حالت‌های مختلف شکست را در شرایط مختلف بیان نماید و رابطه‌ای بدین منظور تعریف شد.

می‌توان مهم‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق را

به صورت زیر خلاصه نمود.

- سه حالت مختلف شکست سنگ‌چین شامل غلتشی، لغزشی و زیر سطحی مشاهده شد و مرزبندی حالت‌های مختلف براساس شرایط بار هیدرولیکی و با اصلاح رابطه فاکتور شکست تقسیم‌بندی گردید و ملاحظه شد که این مرزها با کانال با شرایط مستقیم کاملاً متفاوت است.

- وقوع هر حالت شکست با پارامترهای هندسی آبشکن مستغرق و اندازه سنگ‌چین ارتباط دارد.

دیده شد که برای یک اندازه سنگ‌چین ثابت در دبی ثابت در فاصله میان شکست لغزشی و زیر سطحی، در عدد فرود پایین‌تر (عمق بیشتر) ابتدا شکست زیر سطحی رخ می‌دهد و با افزایش عدد فرود (عمق کمتر و سرعت بیشتر) شکست به صورت لغزشی اتفاق خواهد افتاد. در واقع جریان می‌بایست نیرو و قدرت لازم جهت شکست لغزشی المان سنگ‌چین را داشته باشد، شکل ۶ بیانگر این مطلب می‌باشد. در این فاصله احتمال وقوع هر دو نوع شکست وجود دارد. با این وجود عدد فرود به تنهایی نمی‌تواند ملاک تشخیص حالت شکست باشد. و پارامترهایی از قبیل نوع جریان، جهت جریان، اندازه سنگ‌چین‌ها و پارامترهای آبشکن که بر جریان تأثیر گذار می‌باشند در رخ داد هر یک از حالت‌های شکست نقش دارند

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق از شش اندازه مختلف سنگ‌چین، سه طول مختلف آبشکن، سه فاصله مختلف بین آبشکن ها و سه ارتفاع آبشکن جهت بررسی حالت‌های مختلف

منابع مورد استفاده

ظهیری ج، کاشفی‌پور س، م، قمشی م و شفاعی بجستان م، ۱۳۹۱. تأثیر پارامترهای هندسی سنگ‌چین بر محافظت آبشکن‌ها در قوس ۹۰. مجله علوم و مهندسی آبیاری، شماره ۴ صفحه‌های ۴۹ تا ۵۸.

- Bakhtiyari M, kashefipour SM, Ghomshi M and Zahiri J, 2012. Effects of geometric parameters of spur dike and depth-placed riprap on its failure threshold in a 90° flume bend. *Ecology, Environment and Conservation* (4): 479-484.
- Chiew YM, 1995. Mechanics of riprap failure at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 121(9), 635-643.
- Choudrury UK and Narasimhan S, 1977. Flow in 180 open channel rigid boundarybends. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 103(6), 651-657.
- Gisonni C and Vacca A, 2005. Discussion of Influence of turbulence on bed load sediment transport. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 131(1): 72-73.
- Gisonni C and Hager WH, 2008. Spur failure in river engineering. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 134(2): 135-145.
- Hager WH and Del Giudice G, 2000. Discussion to movable bed roughness in alluvial channels. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 127(7): 627-628.
- Hager WH and Oliveto G, 2002. Shields' Entrainment criterion in bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 128(5) : 538-542.
- Lagasse PF, Zevenbergen LW, Schall JD and Cooper PE, 2001. Bridge scour and stream instability countermeasures. Rep. No. FHWA-NH1-01-003, *Hydraulic Engineering Circular N° 23(HEC-23)*.
- Shukry A, 1950. Flow around Bends in an open flume. *Transactions, ASCE* 115: 751-779.
- Unger J and Hager WH, 2006. Riprap failure at circular bridge piers. *Journal of Hydraulic. Engineering, ASCE* 132(4): 354-362.
- Shields A, 1936. *Application of Similarity Principles and Turbulence Research to Bed Load Movement*. translated to English by W. P. Ott and J. C. van Uchelen, CalTech, Pasadena, CA.
- Vaghefi M, Ghodsian M and Neyshabouri S, 2012. Experimental study on scour around a T-Shaped spur dike in a channel bend. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 138(5): 471-474.
- Varshney VD and Garde JR, 1975. Shear distribution in bends in rectangular channels. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE* 101(HY8): 1053-1066.