

## مقایسه تأثیر سه رقوم قرارگیری سنگ‌چین بر پایداری آن در محل تکیه‌گاه پل واقع در قوس 90 درجه بر اساس آستانه حرکت ذرات سنگ‌چین

مهوش منصوری هفشجانی<sup>1\*</sup> و محمود شفاعی بجنستان<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 90/04/04 تاریخ پذیرش: 91/08/30

<sup>1</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>2</sup> استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

\* مسئول مکاتبه: Email: [mansoori.m.8@gmail.com](mailto:mansoori.m.8@gmail.com)

### چکیده

آب‌شستگی نوعی از فرسایش است که در اثر جریان آب در سواحل دریاها و رودخانه‌ها و در اطراف سازه‌های احداث شده در آنها به وقوع می‌پیوندد. این پدیده در قوس رودخانه به علت وجود جریان ثانویه، نسبت به کانال مستقیم تشدید می‌گردد، لذا توجه به موضوع فرسایش، کنترل و کاهش آن در این بخش از رودخانه، دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. استفاده از سنگ‌چین (ریپ رپ) یکی از متداول‌ترین روش‌ها جهت حفاظت سواحل و بستر رودخانه می‌باشد. در این تحقیق، رقوم قرارگیری سنگ‌چین در محل تکیه‌گاه پل‌های واقع در قوس 90 درجه رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. این تحقیق به منظور مشاهده و تحلیل رفتار سنگ‌چین با چگالی‌ها و اندازه‌های مختلف و در سه سطح هم‌تراز و بالاتر و پایین‌تر از رسوبات بستر و به ازای قطرهای 4/75، 9/52، 12/7 و 19/05 میلی‌متر و چگالی‌های مختلف سنگ‌چین (1/51، 2/05 و 2/65) انجام پذیرفت. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که سنگ‌چین هم‌تراز با بستر بیشترین میزان پایداری و سنگ‌چین بالاتر از بستر کمترین میزان پایداری را دارند.

واژه‌های کلیدی: آب‌شستگی، تکیه‌گاه پل، جریان ثانویه، رقوم قرارگیری، سنگ‌چین.

## Comparison of the Effect of Three Riprap Placement Levels on Its Stability at Bridge Abutment in a 90° Bend Based on Incipient Motion of Riprap Particles

M Mansoori<sup>1\*</sup> and M Shafaei Bejestan<sup>2</sup>

Received: 25 June 2011 Accepted: 20 November 2012

<sup>1</sup>Former M.Sc. Student of Water Structures, Sari Agriculture and Natural Resources University, Sari, Iran.

<sup>2</sup> Prof., College of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.

\*Corresponding Author Email: [mansoori.m.8@gmail.com](mailto:mansoori.m.8@gmail.com)

### Abstract

Scouring is a type of local erosion that usually occurs downstream of most of hydraulic structures and around any obstacles in rivers. This phenomenon can be intensified at the river bend due to occurrence of secondary flow in comparison with straight channels, so attention to the erosion and its control and mitigation at this part of river is very important. Using riprap is one of the usual methods to protect river banks and bed against erosion. In this research, the riprap placement level at a bridge abutment site located at a 90 degree river bend was investigated. This research was carried out to observe and analyze the riprap behavior with various specific gravities and sizes and three different riprap placement levels namely, the same, upper and lower than river bed sediments level. Three different types of riprap with specific gravities of 1.51, 2.05 and 2.65 and four different sizes of 4.75 , 9.52 , 12.7 and 19.05 millimeters were also utilized. The results show that the riprap placed at the bed level has the most stability, and the riprap placed above the bed has the lowest stability.

**Keywords:** Bridge abutment, Placement level, Riprap, Scouring, Secondary flow.

شستگی می‌شود اصلی‌ترین عامل شکست پل‌ها شناخته شده است (قربانی و حیدر پور 1384).

جریان یافتن آب در مجاورت تکیه‌گاه و کف‌کنی و عمیق‌تر شدن بستر رودخانه در مواقع سیلابی، یکی از عوامل اساسی تخریب و آب‌شستگی پل‌ها می‌باشد. تماس مستقیم جریان آب با دیواره‌های جانبی پل منجر به افزایش شیب طولی در اثر شسته‌شدن کف بستر و عمیق شدن آن می‌گردد. لذا بستر آبرفتی رودخانه‌ها در دماغه تکیه‌گاه پل‌ها وقتی در مقابل جریان قرار می‌گیرند، اختلاف بار آبی در بالادست و پایین‌دست دیواره جانبی، یکی از عوامل تولید جریان آشفته چرخشی و

### مقدمه

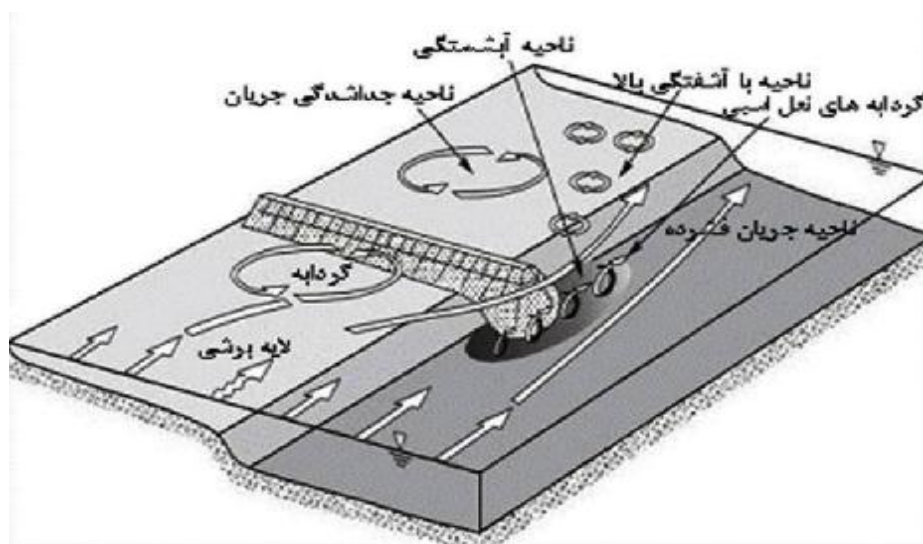
پل، از جمله مهم‌ترین سازه‌های هیدرولیکی است که از دیر باز مورد استفاده بشر قرار گرفته است و نقش استراتژیک آن در مسائل گوناگون بر کسی پوشیده نیست. همه ساله پل‌های زیادی در سراسر جهان تخریب می‌شوند. تخریب این پل‌ها نه به دلیل سازه‌ای بلکه به دلیل در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پل‌ها است. در مطالعات انجام شده در مورد تخریب پل‌ها، سیلی که منتج به آب-

جریان رودخانه به سمت پایین دست حمل می‌شوند که این عمل در نهایت باعث توسعه حفره آب‌شستگی در محل استقرار تکیه‌گاه خواهد شد (غزل و همکاران 1388).

نوع جریان در محل تکیه‌گاه زمانی که به صورت عمود بر مسیر جریان و در بستر سست رودخانه احداث می‌شود در حالت طبیعی پیچیده است که این پیچیدگی با توسعه حفره آب‌شستگی در طی زمان افزایش پیدا می‌کند (غزل و همکاران 1388). شکل 1 نشان‌دهنده الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل‌ها می‌باشد.

گردابی در پیرامون آن خواهد بود که اثرات به صورت فرسایش حفره‌ای و عمیق به خصوص در انتهای دماغه دیواره جانبی بالادست آن ظاهر خواهد شد (سپهوند و شفاعی بجستان 1374).

به عبارتی دیگر پس از احداث پل به دلیل قرارگرفتن پایه‌های پل و تکیه‌گاه‌ها در مسیر جریان رودخانه یک سری تغییرات در جریان پیش می‌آید. تکیه‌گاه پل به دلیل قرار گرفتن در مسیر جریان آب به صورت یک سد عمل کرده و باعث تغییر مسیر جریان در محل برخورد با تکیه‌گاه و توسعه جریان‌های گردابی می‌شوند. این گرداب‌ها به نوبه خود مواد اطراف تکیه‌گاه را از جای خود کنده و سپس این مواد توسط



شکل 1- الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل (غزل و همکاران 1388)

علت بارندگی‌های صورت گرفته، پل دوراهی دیر که زمان چندانی از احداث آن نمی‌گذشت، تخریب شده و تردد را مختل کرد (دبدرانی و همکاران 1388).

آنگر و هگر (2006) با مطالعه سه رقوم قرارگیری سنگ‌چین (هم تراز، بالاتر و پایین تر از بستر) در اطراف پایه‌های استوانه‌ای پل در مسیر مستقیم، پایدارترین رقوم قرارگیری سنگ‌چین را رقوم هم تراز با بستر معرفی کردند.

بر اساس مطالعات سازمان بزرگراه‌های ایالات متحده<sup>1</sup>، در سال 1973 از تعداد 383 مورد خرابی در پل‌ها، 25% مربوط به خرابی پایه‌ها و 72% مربوط به خرابی تکیه‌گاه‌ها بوده است (صانعی 1385). در کشور ما به دلیل عدم رعایت ملاحظات فنی در طراحی و اجرای پل‌ها، هر ساله ده‌ها پل تخریب شده که اکثر آنها در اثر آب‌شستگی می‌باشد. در آذرماه سال 1387 نیز به

انحنای نسبی قوس ( $R/B=2$ )، عرض فلوم (0/4 متر)، موقعیت تکیه‌گاه در طول قوس (قرارگیری در زاویه 75 درجه از ابتدای قوس) و نوع تکیه‌گاه، عوامل مؤثر در پایداری سنگ‌چین را می‌توان با تابع زیر بیان کرد:

$$f(v, y, g, r, m, D_{50}, r_s, x) = 0 \quad [1]$$

که در این رابطه  $v$  و  $y$  به ترتیب سرعت و عمق جریان در شرایط آستانه حرکت سنگ‌چین،  $g$  شتاب ثقل،  $\rho$  و  $\mu$  به ترتیب جرم واحد حجم و لزجت سیال،  $D_{50}$  و  $\rho_s$  به ترتیب اندازه متوسط و جرم واحد حجم ذرات سنگ‌چین و  $\gamma$  معرف وضعیت قرارگیری سنگ-چین می‌باشد.

با بکار بردن نظریه باکینگهام برای شرایط آستانه حرکت و انتخاب سه متغیر سرعت، اندازه ذره و جرم واحد حجم آب به عنوان سه متغیر تکراری، پارامترهای بدون بعد فرود، نسبت اندازه ذره به عمق آب، نسبت جرم واحد حجم ذره به جرم واحد حجم آب و عدد رینولدز به دست می‌آید که با ترکیب سه پارامتر بدون بعد اولی و حذف عدد رینولدز به دلیل آشفتگی بودن جریان در تمام آزمایش‌ها، می‌توان رابطه بدون بعد زیر را در آستانه حرکت سنگ‌چین نوشت:

$$f\left(\frac{v}{\sqrt{g(G_s - 1)D_{50}}}, \frac{y_t}{D_{50}}, x\right) = 0 \quad [2]$$

در رابطه 2 پارامتر بی بعد  $v/\sqrt{g(G_s - 1)D_{50}}$ ، بیانگر عدد پایداری (SN) می‌باشد که در آنالیز پایداری ذرات، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. رابطه اخیر نشان می‌دهد که آستانه حرکت می‌تواند تابع نحوه قرارگیری سنگ‌چین باشد. برای بررسی این موضوع، آزمایش‌های مختلفی انجام شد که در ادامه ارائه شده است.

از تحقیقات انجام شده در ایران به منظور حفاظت پل در مقابل آب‌شستگی با استفاده از سنگ‌چین، می‌توان به تحقیق قربانی و حیدر پور (1384) اشاره کرد که با استفاده از چهار اندازه سنگ‌چین در اطراف پایه استوانه‌ای در مسیر مستقیم و در سه سطح قرارگیری مختلف بالاتر، هم‌تراز و پایین‌تر از بستر و دو اندازه شکاف پایه که تا بستر امتداد داشتند، دریافتند که سنگ-چین پایین‌تر از بستر بیشترین میزان پایداری و سنگ-چین بالاتر از بستر کمترین میزان پایداری را دارند و سنگ‌چین هم‌تراز با بستر از لحاظ میزان پایداری در میان این دو حالت قرار دارد.

کیخانی و همکاران (1388) نیز تحقیقاتی در رابطه با بررسی الگوی سنگ‌چین در محل احداث گروه پایه‌های پل‌ها انجام دادند، نتایج تحقیقات آنها نشان داد که مساحت محدوده پوشش سنگ‌چین در گروه پایه‌ها برای هر پایه نسبت به تک پایه کاهش یافته است که یکی از امتیازات کاربرد سنگ‌چین برای حفاظت گروه پایه-هاست.

نتایج تحقیق زراتی و همکاران (2006) در محل گروه پایه‌های پل با استفاده از ترکیب سنگ‌چین و طوق، نشان داد که در دوپایه‌های در یک خط موازی با جهت جریان، استفاده از ترکیب سنگ‌چین و طوق پیوسته باعث کاهش آب‌شستگی در جلو و پشت پایه‌ها به ترتیب به میزان 50 و 60 درصد شده است.

در این تحقیق، رقوم قرارگیری سنگ‌چین در محل تکیه‌گاه پل‌های واقع در قوس 90 درجه رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این تحقیق، مشاهده و تحلیل رفتار سنگ‌چین با اندازه‌های مختلف و در سه سطح هم‌تراز و بالاتر و پایین‌تر از رسوبات بستر رودخانه می‌باشد.

#### آنالیز ابعادی

با صرف نظر کردن از پارامترهای ثابت در این تحقیق از جمله: شعاع انحنای متوسط قوس (0/8 متر)،

## مواد و روش‌ها

## فلوم

فلوم مورد استفاده در آزمایشگاه مدل دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز، فلومی مستطیلی دارای قوس 90 درجه با عرض 40 سانتی‌متر، ارتفاع 70 سانتی‌متر و شیب کف صفر، شعاع انحنای متوسط 0/8 متر بوده و انحنای نسبی (R/B=2) قوس را در رده قوس‌های تند قرار می‌دهد. این فلوم شامل مخزن ورودی (مخزن آرام کننده) می‌باشد. طول مسیر مستقیم ورودی (از انتهای مخزن آرام کننده تا ابتدای قوس) برابر 4 متر می‌باشد. طول دیواره خارجی و داخلی قوس به ترتیب 160 و 94 سانتی‌متر می‌باشد و مسیر مستقیم خروجی (از انتهای قوس تا انتهای فلوم) برابر 2 متر می‌باشد، در انتهای فلوم از یک دریچه کشویی برای کنترل و تنظیم سطح آب و از یک مخزن جهت جمع‌آوری رسوبات فرسایش‌یافته استفاده شده است. همچنین در فاصله 205 سانتی‌متری از ابتدای مخزن از یک سرزیر مثلثی لبه تیز با زاویه 90 درجه برای اندازه‌گیری دبی به کار برده شده است.

## رسوبات

به توصیه رادکیوی و اتما (1983)، برای جلوگیری از تشکیل رپل، قطر متوسط ذرات باید از 0/7 میلی‌متر بزرگ‌تر باشد. همچنین بیشتر تحقیقات در مبحث آستانه حرکت با مصالح یکنواخت صورت گرفته

است که از جمله آنها دیاگرام شیلدز می‌باشد که با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی روی مصالح یکنواخت صورت گرفته است که برای حذف تأثیر غیریکنواختی رسوبات بر آبشستگی، انحراف معیار هندسی ذرات باید کمتر از 1/3 باشد (شفاعی بجستان 1991).

به منظور برآورده شدن شرایط فوق، رسوبات انتخاب شده برای آزمایش‌ها دارای اندازه متوسط 1/63 میلی-متر و انحراف معیار هندسی  $\sigma_g = \sqrt{d_{84}/d_{16}} = 1.28$  می‌باشند. ضخامت مصالح بستر نیز 36 سانتی‌متر انتخاب گردید.

## تکیه‌گاه و سنگچین (ریپ‌رپ)

آزمایش‌هایی که بر روی همین فلوم و با مشخصات رسوبات و تکیه‌گاه پل یکسان با این تحقیق، به منظور نحوه توزیع آبشستگی صورت گرفته است (گرگیچ 1389) نشان داده که بیشترین میزان آب-شستگی در طول قوس، در زاویه 75 درجه حاصل شده است، بنابراین تکیه‌گاه در موقعیت 75 درجه قوس خارجی قرار داده شد و مقدار درصد انسداد 10 درصد برای تکیه‌گاه انتخاب گردید. نوع تکیه‌گاه به کار رفته در تمام آزمایشات، تکیه‌گاه با دیواره بالدار 45 درجه، دارای ارتفاع 68 سانتی‌متر و از جنس پلکسی‌گلاس می‌باشد. شکل 2 نشان دهنده شکل تکیه‌گاه پل به کار بررفته در آزمایشات است.



شکل 2- نمایی از تکیه‌گاه پل به کار رفته در آزمایشات

شکل مستطیلی و همچنین ضخامت لایه سنگ‌چین با توجه به معیار ارائه شده توسط ملویل و همکاران (2007)، دو برابر قطر متوسط سنگ‌چین در نظر گرفته شد.

#### نحوه انجام آزمایشات

قبل از هر گونه آزمایشی ابتدا باید رسوبات درون فلوم آزمایشگاهی تسطیح گردد. سپس سنگ‌چین موردنظر به ضخامت  $2D_{50}$  در اطراف تکیه‌گاه قرار داده شده و جهت جلوگیری از فرسایش و به وجود آمدن آب-شستگی‌های ناخواسته مربوط به جریان اولیه، در شروع آزمایش دریچه انتهایی کانال را بسته و با دبی بسیار کم کانال پر می‌شود. پس از تنظیم دبی مورد نظر (28 لیتر بر ثانیه)، عمق جریان توسط دریچه پایین‌دست در پریودهای زمانی 15 دقیقه‌ای کاهش داده شده و پس از هر بار کاهش عمق، سطح مصالح سنگ‌چین مشاهده می‌گردد و در لحظه مشاهده شروع حرکت اولین ذرات سنگ‌چین (مرحله آستانه حرکت)، عمق جریان در مسیر مستقیم پایین‌دست قوس به عنوان عمق آستانه حرکت اندازه‌گیری می‌شود. این عمل برای سه حالت قرارگیری رقوم سنگ‌چین (هم‌تراز و بالاتر و پایین‌تر از رسوبات بستر) انجام می‌شود.

#### نتایج و بحث

برای مشاهده تأثیر قرارگیری رقوم سنگ‌چین بر پایداری آن در سه حالت هم‌تراز، بالاتر و پایین‌تر از رسوبات بستر، مقادیر اندازه‌گیری شده عمق آب در پایین‌دست قوس به ازای چگالی‌های مختلف سنگ‌چین و به ازای دبی آزمایشی (28 لیتر بر ثانیه) در جداول 2، 3 و 4 ارائه شده است. مشاهدات نشان داد که بیشترین عمق پایاب جهت آستانه حرکت ذرات سنگ‌چین در هر سه حالت هم‌تراز، بالاتر و پایین‌تر از رسوبات بستر مربوط به سنگ‌چین با چگالی 1/51 و قطر 12/7 میلی-متر می‌باشد. همچنین کمترین عمق پایاب جهت آستانه حرکت ذرات سنگ‌چین در هر سه حالت هم‌تراز، بالاتر

همچنین سنگ‌چین‌های به کاررفته در این تحقیق، 3 نوع ماده با چگالی مختلف بوده که همه آنها تیزگوشه و با دانه‌بندی یکنواخت می‌باشند. یکی از پوشش‌های مورد استفاده برای انجام آزمایشات، سنگ (چگالی نسبی 2/65) بوده که در عمل نیز به طور وسیعی برای کنترل آبشستگی از آن استفاده می‌گردد و دو پوشش مورد استفاده دیگر بر اساس در دسترس بودن آنها، آجر و مصالح ساختمانی انتخاب گردید. مشخصات این سنگ-چین‌ها در جدول 1 ارائه گردیده است.

#### جدول 1- مشخصات سنگ‌چین‌های به کاررفته در اطراف

تکیه‌گاه	
چگالی نسبی سنگ‌چین	اندازه متوسط ذرات سنگ‌چین (mm)
2/65	19/05 و 12/7، 9/52، 4/75
2/05	12/7 و 9/52
1/51	19/05 و 12/7

برای تعیین وسعت سنگ‌چین در زاویه 75 درجه قوس خارجی (که برای تمام آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شده است)، آزمایش بدون قرارگیری سنگ‌چین در اطراف تکیه‌گاه به منظور بررسی حداکثر ابعاد گودال آبشستگی اطراف تکیه‌گاه انجام شد. برای این منظور در طی آزمایشی 12 ساعته عمق آبشستگی دماغه تکیه‌گاه به وسیله عمق‌سنج در فواصل زمانی معین و فرسایش ساحل خارجی به وسیله خطکش اندازه‌گیری گردید. پس از انجام این آزمایش 12 ساعته، مشخص گردید که حدود 85 درصد آبشستگی در دو ساعت اول آزمایش به وقوع می‌پیوندد. بنابراین زمان آزمایش تعیین وسعت سنگ‌چین اطراف تکیه‌گاه، 2 ساعت در نظر گرفته شد و به ازای دبی 28 لیتر بر ثانیه و عمق جریان 16 سانتی‌متر انجام شد. پس از انجام این آزمایش، محدوده سنگ‌چین برای انجام آزمایش آستانه حرکت سنگ‌چین مشخص گردید و شکل محدوده سنگ-چین بر اساس مطالعات ملویل و همکاران (2007) به

و پایین‌تر از رسوبات بستر نیز مربوط به سنگ چین با چگالی 2/65 و قطر 19/05 میلی‌متر است. بنابراین با مقایسه اعماق پایاب لازم جهت آستانه حرکت ذرات سنگ چین با قطرها و چگالی‌های مختلف می‌توان نتیجه گرفت که سنگ چین هم تراز با بستر بیشترین میزان پایداری و سنگ چین بالاتر از بستر کمترین میزان پایداری را دارند و سنگ چین پایین‌تر از بستر از لحاظ میزان پایداری در میان این دو حالت قرار دارد که نشان می‌دهد نتایج تحقیق حاضر با نتایج مطالعات آنگر و هگر (2006) که به منظور بررسی پایداری سه رقوم قرارگیری سنگ چین (هم تراز، بالاتر و پایین‌تر از بستر) در اطراف پایه‌های استوانه‌ای پل انجام شد مطابقت بیشتری دارد. همچنین در حالتی که سنگ چین هم تراز با بستر می‌باشد دامنه تغییرات پارامتر بی بعد عدد پایداری  $(SN = v / \sqrt{g(G_s - 1)D_{50}})$ ، 0/98-1/26 و در دو حالت پایین‌تر و بالاتر از تراز بستر، مقدار دامنه تغییرات این پارامتر بی بعد به ترتیب 0/87-1/17 و 0/81-1/06 می‌باشد.

و پایین‌تر از رسوبات بستر نیز مربوط به سنگ چین با چگالی 2/65 و قطر 19/05 میلی‌متر است. بنابراین با مقایسه اعماق پایاب لازم جهت آستانه حرکت ذرات سنگ چین با قطرها و چگالی‌های مختلف می‌توان نتیجه گرفت که سنگ چین هم تراز با بستر بیشترین میزان پایداری و سنگ چین بالاتر از بستر کمترین میزان پایداری را دارند و سنگ چین پایین‌تر از بستر از لحاظ میزان پایداری در میان این دو حالت قرار دارد که نشان می‌دهد نتایج تحقیق حاضر با نتایج مطالعات آنگر و هگر (2006) که به منظور بررسی پایداری سه رقوم

جدول 2- نتایج حاصل از آزمایشات در آستانه حرکت برای سطح سنگ چین هم‌تراز با رسوبات بستر

شماره آزمایش	عدد فرود (Fr)	عدد پایداری (SN)	عمق آب در پایین- دست قوس (cm) $(y_f)$	قطر متوسط سنگ چین (mm) $(D_{50})$	دبی مورد آزمایش $(\frac{Lit}{S})$	چگالی نسبی ذرات سنگ چین (Gs)
1	0/19	1/17	23/8	12/7	28	1/51
2	0/25	1/13	20/1	19/05	28	1/51
3	0/26	1/15	19/5	9/52	28	2/05
4	0/31	1/11	17/5	12/7	28	2/05
5	0/25	1/26	20	4/75	28	2/65
6	0/34	1/10	16/2	9/52	28	2/65
7	0/41	1/08	14/3	12/7	28	2/65
8	0/49	0/98	12/8	19/05	28	2/65

جدول 3- نتایج حاصل از آزمایشات در آستانه حرکت برای سطح سنگ چین بالاتر از رسوبات بستر

شماره آزمایش	عدد فرود (Fr)	عدد پایداری (SN)	عمق آب در پایین- دست قوس (cm) $(y_f)$	قطر متوسط سنگ چین (mm) $(D_{50})$	دبی مورد آزمایش $(\frac{Lit}{S})$	چگالی نسبی ذرات سنگ چین (Gs)
9	0/16	1/06	26/2	12/7	28	1/51
10	0/18	0/91	24/8	19/05	28	1/51
11	0/21	0/99	22/6	9/52	28	2/05
12	0/24	0/94	20/5	12/7	28	2/05
13	0/19	1/06	23/9	4/75	28	2/65
14	0/28	0/96	18/5	9/52	28	2/65
15	0/32	0/91	16/8	12/7	28	2/65
16	0/37	0/81	15/5	19/05	28	2/65

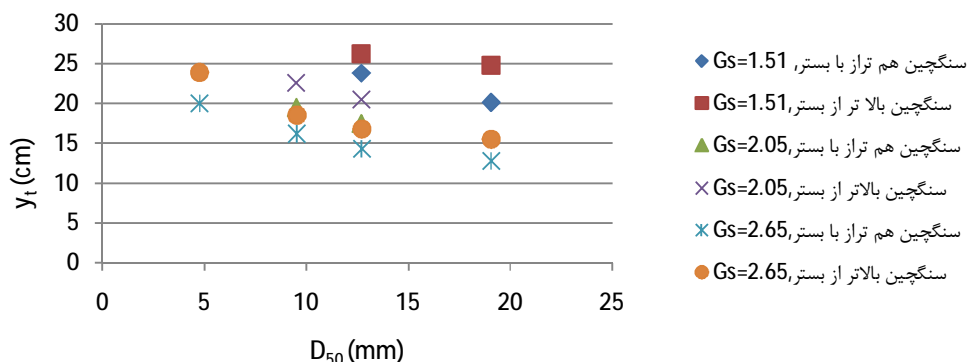
جدول 4- نتایج حاصل از آزمایشات در آستانه حرکت برای سطح سنگ چین پایین تر از رسوبات بستر

شماره آزمایش	عدد فرود ( $Fr$ )	عدد پایداری ( $SN$ )	عمق آب در پایین- دست قوس (cm) ( $y_t$ )	قطر متوسط سنگ چین (mm) ( $D_{50}$ )	دبی مورد آزمایش ( $\frac{Lit}{S}$ )	چگالی نسبی ذرات سنگ چین ( $G_s$ )
17	0/17	1/09	25/5	12/7	28	1/51
18	0/21	1/02	22/3	19/05	28	1/51
19	0/23	1/07	20/9	9/52	28	2/05
20	0/27	1/01	19/1	12/7	28	2/05
21	0/22	1/17	21/5	4/75	28	2/65
22	0/30	1/00	17/9	9/52	28	2/65
23	0/35	0/96	16	12/7	28	2/65
24	0/40	0/87	14/5	19/05	28	2/65

پایاب، اندازه قطر سنگ چین که در آستانه حرکت قرار گرفته است افزایش می یابد.

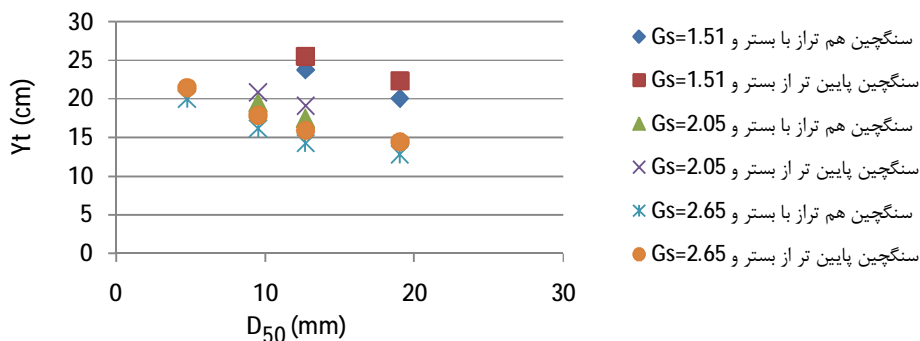
همچنین تغییرات پارامتر بی بعد عدد پایداری در مقابل  $\frac{y_t}{D_{50}}$  برای سه حالت رقوم قرارگیری سنگ چین (هم تراز، بالاتر و پایین تر از بستر)، در شکل 5 رسم شده است. همان طور که از نتایج شکل 5 و جداول 2 تا 4 مشخص است، بیشترین عدد پایداری مربوط به سنگ چین هم تراز با بستر و با چگالی 2/65 و قطر 4/75 میلی متر و کمترین عدد پایداری مربوط به سنگ چین بالاتر از رسوبات بستر و با چگالی 2/65 و قطر 19/05 میلی متر می باشد.

همچنین برای مقایسه پایداری رقوم قرارگیری سنگ چین (هم تراز با رسوبات بستر) با دو حالت دیگر رقوم قرارگیری سنگ چین (بالاتر و پایین تر از رسوبات بستر) شکل های 3 و 4 رسم گردیده اند. همان طور که از شکل 3 و 4 مشخص است در حالتی که رقوم سنگ چین هم تراز با رسوبات بستر باشد آستانه حرکت ذرات سنگ چین نسبت به حالتی که رقوم آنها بالاتر و پایین تر از رسوبات بستر باشد در عمق پایاب پایین تری رخ می دهد. همان طور که از این شکل ها مشخص است، مقایسه اعماق پایاب در هر سه حالت رقوم قرارگیری سنگ چین با چگالی های مختلف نشان می دهد که هر چه چگالی ذرات سنگ چین بیشتر باشد، آستانه حرکت ذرات سنگ چین در عمق پایاب پایین تری رخ می دهد و با کاهش عمق

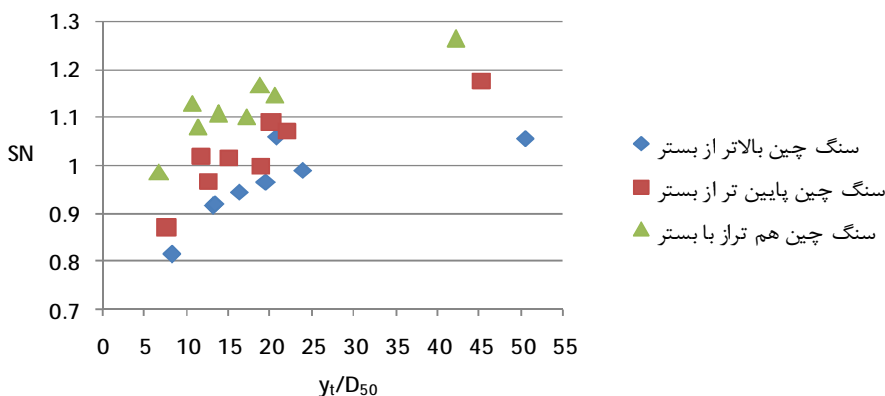


شکل 3- مقایسه رقوم قرارگیری سنگ چین در دو حالت هم تراز و بالاتر از رسوبات بستر





شکل 4- مقایسه رقوم قرار گیری سنگ چین در دو حالت هم تراز و پایین تر از رسوبات بستر



شکل 5- تغییرات عدد پایداری (SN) بر حسب  $\frac{y_t}{D_{50}}$  برای سه حالت رقوم قرارگیری سنگ چین

پایداری و سنگ چین بالاتر از بستر کمترین میزان پایداری را دارند و سنگ چین پایین تر از بستر از لحاظ میزان پایداری در میان این دو حالت قرار دارد. بنابراین به منظور محافظت تکیه‌گاه پل‌های واقع در قوس تند رودخانه، استفاده از سنگ چین در ترازهای برابر با تراز رسوبات بستر رودخانه توصیه می‌گردد. همچنین مقایسه اعماق پایاب در هر سه حالت رقوم قرارگیری سنگ چین با چگالی‌های مختلف نشان می‌دهد که هرچه چگالی ذرات سنگ چین بیشتر باشد، آستانه حرکت ذرات سنگ چین در عمق پایاب پایین‌تری رخ می‌دهد و با کاهش عمق پایاب، اندازه قطر سنگ چین که در آستانه حرکت قرار گرفته است افزایش می‌یابد.

همان طور که از شکل 5 ملاحظه می‌شود به ازای هر نسبت  $\frac{y_t}{D_{50}}$ ، مقادیر عدد پایداری برای سنگ چین -هایی که هم تراز با بستر قرار داشته‌اند، بیشتر از دو حالت قرارگیری دیگر سنگ چین می‌باشد، این بدان معنی است که برای یک اندازه معین سنگ، در صورتی که سنگ‌ها هم‌تراز با بستر رودخانه قرار گیرند پایداری آنها هستند.

#### نتیجه‌گیری کلی

از مقایسه نتایج تحقیق حاضر مربوط به سه حالت رقوم قرارگیری سنگ چین (هم تراز با رسوبات بستر و بالاتر و پایین تر از رسوبات بستر) می‌توان نتیجه‌گیری نمود که سنگ چین هم تراز با بستر بیشترین میزان

**تشکر و قدردانی**

دانشگاه شهید چمران و نیز آقای مهندس وحید گرگیج که در انجام آزمایش‌ها کمک نمودند قدردانی می‌شود.

هزینه‌های این تحقیق از محل پژوهانه نویسنده دوم تامین شده است که بدینوسیله از معاونت پژوهشی

**منابع مورد استفاده**

- دبردانی ا، قربانی ب، صانعی م و صمدی ح، 1388. اثر زاویه قرارگیری صفحات دوگانه در کاهش آب‌شستگی پایه پل در موقعیت 45 درجه. هشتمین کنفرانس هیدرولیک. دانشگاه تهران. تهران.
- سپهوند ک و شفاعی بجستان م، 1374. بررسی میزان عمق آب‌شستگی اطراف دیواره جانبی پل‌ها. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- صانعی م، 1385. بررسی آزمایشگاهی اثر درصد انسداد در آب‌شستگی موضعی آب‌شکن‌ها. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- غزل ا، منتصری م و وجدانی ن، 1388. ارزیابی روابط عمق آب‌شستگی موضعی در محل تکیه‌گاه‌های پل. هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- قربانی ب و حیدرپور م، 1384. کنترل و کاهش آب‌شستگی موضعی با استفاده هم‌زمان از شکاف و سنگ‌چین. گزارش طرح تحقیقاتی بین دانشگاهی. دانشگاه شهرکرد (شهرکرد) و صنعتی اصفهان (اصفهان). 112ص.
- کیخائی م، حیدرپور م و موسوی س ف، 1388. بررسی الگوی پوشش سنگ‌چین در محل احداث گروه پایه‌های استوانه-ای در پل‌ها. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). شماره 13. صفحه‌های 29 تا 49.
- گرگیج و، 1389. بررسی عمق آب‌شستگی در اطراف تکیه گاه کناری پل در قوس 90 درجه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Melville BW, Van Ballegooy S, Coleman SE and Barkdoll B, 2007. Riprap size selection at wing-wall abutments. *J Hydraul Eng* 133(11):1265-1269.
- Raudkivi AJ and Ettema R, 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *J Hydraul Eng* 109(3):338-350.
- Shafai-Bajestan M, 1991. Critical stability number in rock lined channels. *J Iran Agric Res* 9(2):121-138.
- Unger J and Hager WH, 2006. Riprap failure at circular bridge piers. *J Hydraul Eng* 132(4):354-362.
- Zarrati AR, Nazariha M and Mashahir MB, 2006. Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. *J Hydraul Eng* 132(2):154-162.