

# بررسی آزمایشگاهی اثر زبری‌های مستطیلی شکل بر کاهش میزان آبستگی موضعی در اطراف پایه پل مربعی شکل

محمد حسین هرمزی<sup>1</sup>، ناصر طالب بیدختی<sup>2</sup>، محمود شفاعی بجستان<sup>3\*</sup>

1- کارشناس ارشد عمران-سازه های هیدرولیکی، مهندس مشاور سازه

2- استاد گروه مهندسی راه و ساختمان، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

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

\* اهواز، کد پستی 83151-61357

m\_shafai@yahoo.com

**چکیده-** وقوع آبستگی در اطراف پایه پل یکی از عمده ترین دلایل تخریب پل‌ها است. استفاده از زبری‌های نصب شده به دور پایه، یکی از روش‌های جدید کاهش آبستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل می‌باشد. زبری‌های بکار رفته در آزمایش‌ها، با ضخامت ناچیز و با طول و عرض‌های متفاوت و فواصل قرارگیری مختلف نسبت به هم، به حالت عمود بر پایه قرار داده شده‌اند. این زبری‌ها با کاهش قدرت جریان‌های رو به پایین و فعالیت گرداب‌های نعل اسبی، باعث کاهش میزان آبستگی موضعی در اطراف پایه پل‌ها می‌شوند. در این تحقیق با فرض اینکه زبری می‌تواند باعث کاهش قدرت جریان‌های رو به پایین و در نتیجه کاهش عمق آبستگی شود، آزمایش‌هایی با ابعاد و فواصل قرارگیری زبری و شرایط جریان متفاوت انجام و نتایج در قالب نمودارهایی ارائه شده که حاکی از تاثیر کاهنده عمق آبستگی تا حداکثر 70 درصد می‌باشد.

**کلیدواژگان:** آبستگی موضعی، پایه پل، زبری، شرایط جریان.

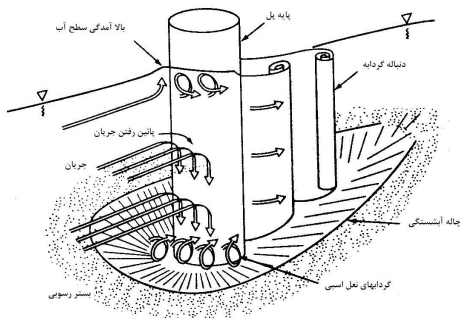
## 1- مقدمه

پایه‌های پل و نیز ارائه راه‌کارهایی برای محافظت هر چه بیشتر از پایه پل‌ها و سازه‌های دریایی مشابه در برابر آبستگی از اهمیت بالایی برخوردار است (نوری فر، 1389).

مکانیزم آبستگی به این صورت است که پس از برخورد جریان به پایه پل، با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود، فشار بیشتری نیز در ترازهای بالاتر بر روی پایه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی پایه از بالا به پایین به وجود می‌آید که خود باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در

وجود پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های جانبی پل در عرض رودخانه باعث کاهش عرض عبوری جریان، برخورد جریان به پایه و انحراف خطوط جریان اطراف پایه به کف بستر و در نتیجه ایجاد آبستگی موضعی پایه پل‌ها می‌شوند. (شجاعی، 1390). طبق آمارهای ارائه شده توسط کشورهای مختلف می‌توان گفت بیشتر تخریب پل‌ها نه در اثر ضعف‌های سازه‌ای، بلکه در زمان‌های وقوع سیل و در اثر وقوع پدیده آبستگی در اطراف پایه‌ها رخ می‌دهند. بنابراین شناخت فرایند آبستگی اطراف

روش‌های مختلفی توسط محققان پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات چپو (1986)، بروزرز و همکاران (1977)، ورمن (1989)، چپو (1992)، سینگ و همکاران (1995)، لوجلان و ملویل (2001)، کومار (1996) و ملویل و هادفیلد (1999) اشاره کرد که در تحقیقاتشان از سنگچین، شکاف، طوقه و شمع‌های حفاظتی برای کاهش آبشستگی استفاده کردند. در این تحقیق به بررسی اثر زبری‌های مستطیلی شکل با ضخامت ناچیز بر کاهش میزان آبشستگی موضعی پایه پل پرداخته شده است.



شکل 1 الگوی جریان و حفره آبشستگی موضعی اطراف یک پایه پل استوانه‌ای شکل (شفاعی بجستان، 1387)

زبری‌ها زائده‌هایی هستند که حول پایه پل با فواصل مختلف نصب می‌شوند. این زبری‌ها عمود بر پایه و به صورت یک سطح صاف و دارای ضخامت ناچیز می‌باشند که در کاهش آبشستگی مؤثرند. شکل 2 نحوه استفاده از زبری‌ها را در پایه مربعی شکل نشان می‌دهد که  $D$  عرض پایه،  $h$  ارتفاع زبری (برآمدگی زبری)،  $b$  عرض زبری و  $l$  فواصل قرارگیری ردیف زبری‌ها نسبت به هم می‌باشد.

زبری‌های نصب شده بر روی بدنه پایه پل، به دو ناحیه بالای بستر و زیر بستر تقسیم می‌شوند. ناحیه بالای بستر به عنوان یک مانع در مقابل جریان‌های رو به پایین عمل کرده و قدرت جریان‌های رو به پایین را در اثر برخورد با زبری‌ها کاهش می‌دهد و ناحیه زیر بستر، قدرت

جلو پایه می‌شود. جریان رو به پایین همانند یک جت عمودی عمل کرده و پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود (Raudkivi, 1998). مقداری از این جریان که به سمت بالا بازگشت می‌کند، در برخورد به جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدداً به پایه برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت آن در داخل حفره کنده شده، گردابی تشکیل می‌دهد که به تدریج در دو طرف پایه، امتداد یافته و شکلی شبیه نعل اسب پدید می‌آورد که به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آبشستگی، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند (Breusers et al., 1997). در اثر جدایی جریان در کناره‌های پایه نیز گرداب‌هایی تشکیل می‌شوند که محور آن‌ها عمود بر بستر رودخانه می‌باشد و به آنها گرداب برخاستگی می‌گویند. این گرداب‌ها همانند گردباد ذرات بستر را جدا کرده و در معرض جریان قرار می‌دهند و به انتقال ذرات از جلو و اطراف پایه به سمت پایین دست کمک می‌کنند. گرداب‌های دیگری نیز در جلوی پایه شکل می‌گیرند که به آن‌ها گرداب موج کمانی یا سطحی گفته می‌شود که در جریان‌ات کم عمق دارای اهمیت می‌باشند. حفر گودال آبشستگی توسط گرداب نعل اسبی آنقدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبشستگی زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. در این حالت عمق آبشستگی به حالت تعادل می‌رسد (Raudkivi, 1998). در شکل 1 الگوی جریان و نمونه ای از جریان آشفته و گرداب‌هایی که باعث آبشستگی موضعی و چاله آبشستگی می‌شوند نشان داده شده است.

ضرورت انجام تحقیق حاضر برای محافظت هرچه بیشتر از پایه پل‌ها و سازه‌های دریایی مشابه در برابر آبشستگی می‌باشد. همچنین در زمینه کنترل و کاهش آبشستگی،

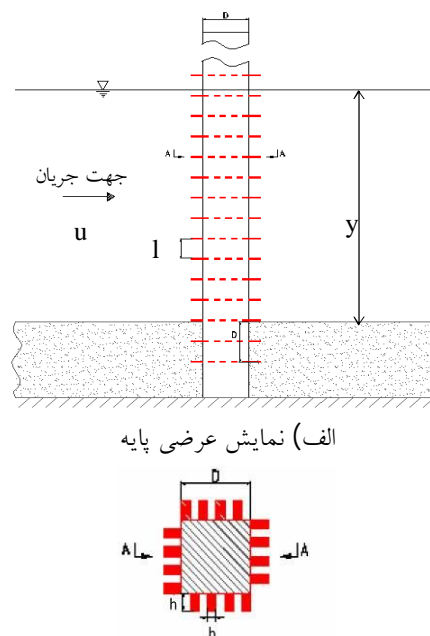
به دلیل آنکه نتایج حاصل از این تحقیق مبتنی بر اطلاعات به دست آمده از آزمایش بر روی مدل فیزیکی است، هندسه فلوم آزمایشگاهی و انتخاب ابعاد مدل بسیار مهم است. در ساخت مدل سعی شده است تأثیر متغیرهایی که به طور غیرمستقیم روی میزان آبشستگی تأثیر می-گذارند، حذف شوند.

## 2- معرفی مدل و آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز در یک کانال مستطیلی مستقیم به طول 7/30 متر، عرض 0/56 متر و عمق 0/56 متر با شیب طولی 0/0028 انجام شد. شکل 3 شماتیکی از فلوم مورد آزمایش را نشان می‌دهد. در طول آزمایش‌ها، آب به کمک پمپ از مخزن زیرزمینی به داخل کانال تغذیه شده و در انتها توسط سرریز مثلی مطابق شکل، میزان دبی اندازه‌گیری می‌شد.

عمق آب داخل کانال به کمک یک دریچه که در انتهای کانال قرار دارد تنظیم و ثابت می‌گردید. بنابر توصیه Chiew and Melville (1987) عرض پایه باید کمتر از 0/1 عرض کانال باشد تا دیواره‌های جانبی تأثیری در نتایج بدست آمده نداشته باشد. در نتیجه از پایه‌ای با جنس پلکسی گلاس و به عرض 4 سانتی‌متر برای مدل مورد نظر استفاده گردید.

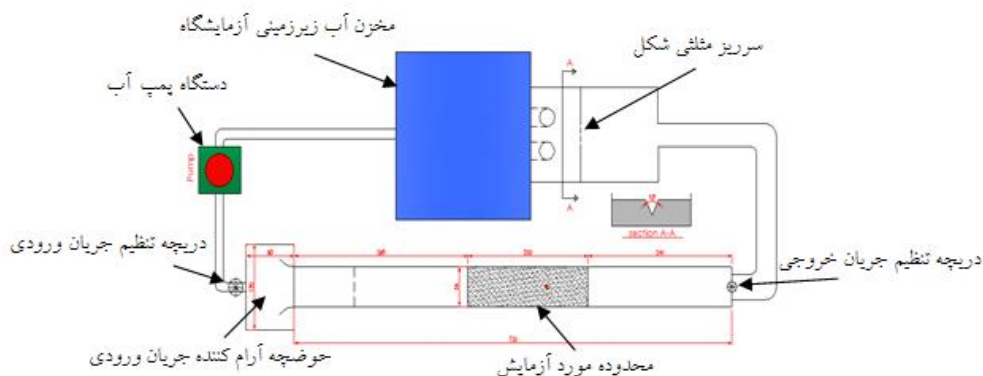
جریان‌های رو به پائین و خصوصاً فعالیت گرداب‌های نعل اسبی را کاهش می‌دهد. کارایی زبری‌ها به اندازه، و فاصله قرارگیری آنها از یکدیگر بستگی دارد.



ب) نمایش برش A-A در پلان

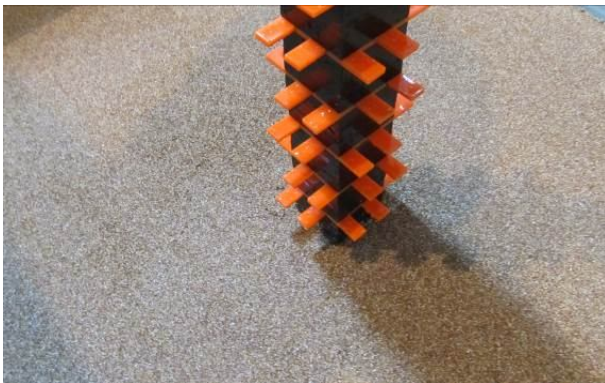
شکل 2 نمایش زبری‌های نصب شده بر پایه پل مربعی شکل

زمانی که زبری‌های یاد شده برای محافظت از آبشستگی روی پایه نصب می‌شوند، جریان‌های رو به پایین در حین برخورد به آنها منحرف شده و در نتیجه قدرت گرداب‌های نعل اسبی کاهش و میزان آبشستگی تا حدی کم می‌شود.



شکل 3 شماتیکی از فلوم آزمایشگاهی مورد آزمایش

ساخته شده بودند. هر ردیف این زبری‌ها به صورت یکی در میان و به حالت خلاف هم در طول پایه قرار گرفته بودند به طوری که فواصل خالی یکدیگر را مطابق شکل 2 پوشش دهند. مدل پایه پل انتخاب شده برای آزمایش‌ها، به گونه‌ای بود که امکان قرارگیری و جابجایی زبری‌ها در سرتاسر پایه را به راحتی فراهم می‌کرد. زبری‌ها با ارتفاع‌های متفاوت  $(1/8)D$ ،  $(2/8)D$  و  $(3/8)D$  و عرض‌های  $(1/16)D$ ،  $(2/16)D$  و  $(4/16)D$  و با فواصل قرارگیری هر ردیف زبری در طول پایه، به میزان  $(1/4)D$ ،  $(2/4)D$  و  $(3/4)D$  عرض پایه بوده که در این تحقیق برابر 4 سانتی‌متر است)، نسبت به هم، مورد آزمون قرار گرفتند. در شکل 4 تصویری از مدل پایه پل و زبری‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها نشان داده شده است.



شکل 4 تصویر مدل پایه پل و زبری‌های مورد استفاده قبل از شروع آزمایش با مشخصات:  $D=(3/8)h$  و  $b=(4/16)D$  و  $l=(3/4)D$

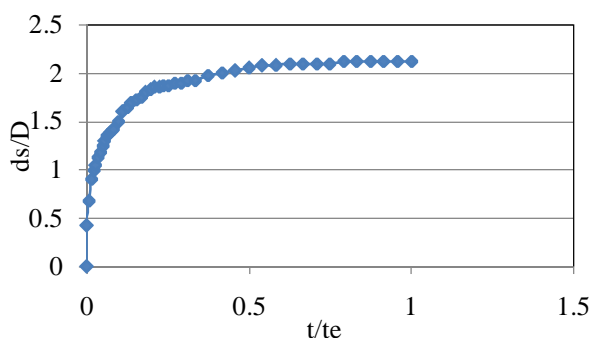
در تمامی حالت‌ها، فاصله بین زبری‌ها (دندانه‌ها) برابر با عرض زبری در همان حالت بوده و محل قرارگیری اولین ردیف زبری‌ها به اندازه عرض پایه ( $D$ ) در زیر بستر پیش‌بینی شده است.

باتوجه به اینکه هدف از انجام آزمایش‌ها فقط بررسی و مقایسه اثر زبری‌های مختلف با فواصل متفاوت نسبت به هم می‌باشد، لذا مدت زمان انجام کلیه آزمایش‌ها 2 ساعت در نظر گرفته شده است، که در این مدت برای پایه بدون زبری، حداکثر عمق آبشستگی به میزان  $1/75D$

همچنین (Ettema 1980) توصیه کرد برای حذف اثر قطر میانگین ذرات مصالح بستر، نسبت قطر پایه به قطر میانگین مصالح باید بیشتر از 50 باشد. در این آزمایش‌ها از ذرات رسوبی یکنواخت با قطر میانگین 0/5 میلی‌متر استفاده شد که شرط ذکر شده را برآورده می‌نماید. با توجه به این که قصد بود آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شود، می‌بایست برای جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات از بالادست پایه، سرعت متوسط جریان کمتر از سرعت بحرانی ( $u < u_c$ ) منظور شود. ( $u$  سرعت متوسط جریان در کانال و  $u_c$  سرعت آستانه حرکت ذرات می‌باشد). Raudkivi and Ettema (1983) توصیه کردند برای جلوگیری از تشکیل پدیده ریپل، قطر متوسط ذرات از 0/7 میلی‌متر بزرگتر باشد، اما با توجه به مدت زمان هر آزمایش و با توجه به اینکه آزمایش‌ها در  $u/u_c=0/93$  (در نزدیکی شرایط آستانه حرکت) صورت پذیرفتند، هیچگونه تغییر شکلی در بستر بالادست پایه مشاهده نشد، در نتیجه از این مصالح در آزمایش‌ها استفاده شد. (Melville 1997) به منظور حذف اثر عمق جریان بر آبشستگی، توصیه کرد نسبت عمق جریان به قطر پایه بزرگتر از 3 الی 4 باشد، در نتیجه در تمام آزمایش‌ها عمق جریان ( $y$ ) 22 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مقطع آزمایش نیز در محدوده‌ای به طول 2 متر و عرضی برابر با عرض کانال و ارتفاع 0/12 متر از رسوبات غیر چسبنده با دانه‌بندی یکنواخت با قطر میانگین 0/5 میلی‌متر که مدل‌ها در داخل آن نصب گردید، پر شد. این مقطع در فاصله 2/90 متری از ابتدای کانال قرار گرفته است. کف کانال در طرفین مقطع آزمایش توسط صفحاتی تا ارتفاع 0/12 متر، بالا آورده شد. قبل از شروع هر آزمایش تراز رسوبات مقطع آزمایش در یک تراز ثابت که هم تراز صفحات می‌باشد، تنظیم می‌گردید. زبری‌ها نیز از جنس پلکسی گلاس و به ضخامت 3 میلی‌متر که به شکل‌های مستطیلی، با طول و عرض‌های مختلف بوده و برای تمامی اضلاع پایه به یک شکل

کردن ذرات پشت پایه و نیز حمل ذرات کنده شده توسط گرداب‌های نعل اسبی از جلوی پایه به پایین دست را بر عهده داشتند. آبشستگی تحت اثر گرداب‌های نعل اسبی ادامه یافت و موجب آبشستگی در جلوی پایه گردید. در شکل 6 تاثیر ارتفاع زبری‌ها با عرض مشخص، برای فواصل قرارگیری  $D(3/4)$ ، در کاهش آبشستگی پایه پل نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است، با افزایش ارتفاع زبری‌ها با یک عرض مشخص، کارایی آن‌ها در کاهش عمق آبشستگی بیشتر شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که زبری‌های با ارتفاع  $D(1/8)$  تاثیر قابل توجهی در کاهش عمق آبشستگی نداشته و به نظر می‌رسد که حداقل طول لازم برای زبری‌ها به منظور کاهش عمق آبشستگی  $D(2/8)$  باشد، زیرا برای زبری‌های با ارتفاع‌های کوچک، از همان لحظات اولیه شروع آزمایش، با فعالیت جریان‌های رو به پایین و گرداب‌های نعل اسبی در جلوی پایه، آبشستگی شروع شده و به سرعت توسعه می‌یابد. با توجه به کارایی بیشتر زبری‌های با ارتفاع بزرگتر، در شکل 7 به تاثیر فواصل قرارگیری زبری‌ها از یکدیگر، با عرض‌های مشخص و ارتفاع‌های  $D(3/8)$  در کاهش عمق آبشستگی پایه پل پرداخته شده است.

مشاهده شده است. برای این پایه، آزمایش 12 ساعته‌ای صورت پذیرفت که شکل 5 نشان دهنده تغییرات نسبی عمق آبشستگی ( $d_s$ ) به عرض پایه ( $D$ ) بصورت تابعی از زمان است که با تقسیم بر زمان رسیدن به حالت تعادل ( $t_e$ ) بدون بعد شده است.

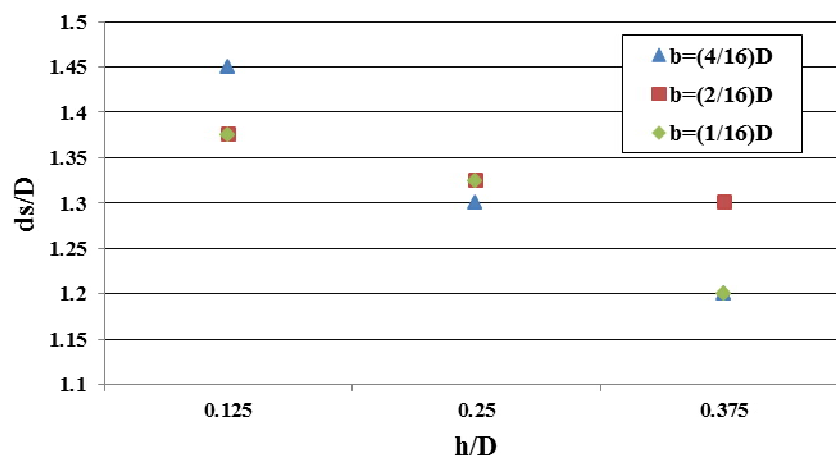


شکل 5 تغییرات عمق آبشستگی به صورت تابعی از زمان برای حالت پایه بدون زبری

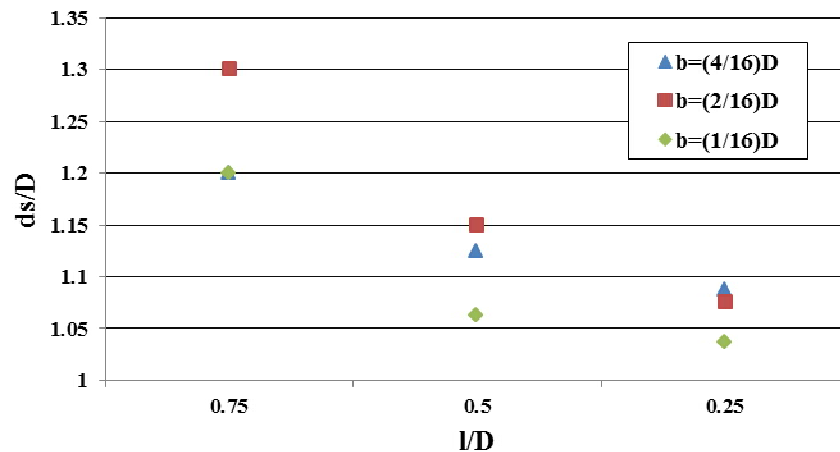
### 3- بحث و نتایج

#### 3-1- حداکثر عمق آبشستگی

به طور کلی در آزمایش‌های انجام شده با زبری‌های متفاوت، مشاهده شد که ابتدا آبشستگی در اثر فعالیت گرداب‌های نعل اسبی در جلو و مقداری نیز در طرفین پایه شروع می‌شود. گرداب‌های برخاستگی نقش بلند



شکل 6 تاثیر ارتفاع زبری بر کاهش عمق آبشستگی برای فواصل قرارگیری  $l=(3/4)D$



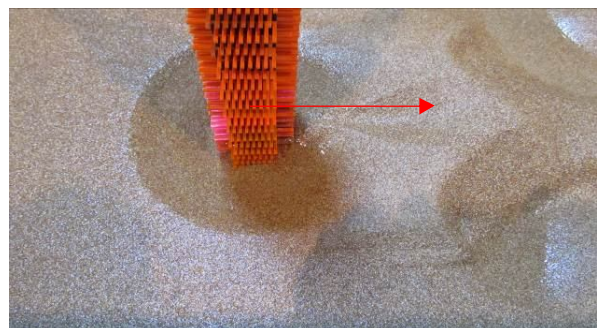
شکل 7 تاثیر فواصل قرارگیری زبری‌ها بر کاهش عمق آبستگي برای ارتفاع‌های  $h=(3/8)D$

آزمایش‌هایی که انجام شد در شرایط جریان  $u/u_c=0.93$  (  $F_r=0.166$  ) صورت گرفته بود. 9 حالت مختلف زبری با 3 فاصله قرارگیری متفاوت نسبت به هم بررسی شدند. جدول 1 حداکثر عمق آبستگي را در موقعیت‌های متفاوت به ازای زبری‌های مختلف نشان می‌دهد. در ضمن همان‌گونه که از نتایج برمی‌آید، برای زبری‌های با ارتفاع کم، با کاهش فواصل قرارگیری از  $l=(2/4)D$  به  $l=(1/4)D$  افزایش میزان آبستگي مشاهده می‌شود که بنظر می‌رسد این مسأله به علت حرکت آرام جریان از لابه‌لای زبری‌ها بوده که باعث می‌شود عبور جریان از بین زبری‌ها با سرعت کمتری انجام شده و در نتیجه جریان رو به پایین که در نزدیکی پایه ایجاد می‌شود، از جلوی زبری‌ها و با قدرت بیشتری نسبت به حالت قرارگیری زبری‌ها با فواصل  $l=(2/4)D$  ایجاد شود که باعث افزایش میزان آبستگي خواهد شد.

### 3-2- مقایسه منحنی‌های تراز حفره آبستگي

در شکل 9 به بررسی منحنی تراز حفره آبستگي موضعی در چهار حالت پایه بدون زبری و به همراه زبری با عرض  $(1/16)D$  و ارتفاع‌های  $(1/8)D$  و  $(3/8)D$ ، با فواصل قرارگیری  $(1/4)D$  و  $(3/4)D$  پرداخته شده است.

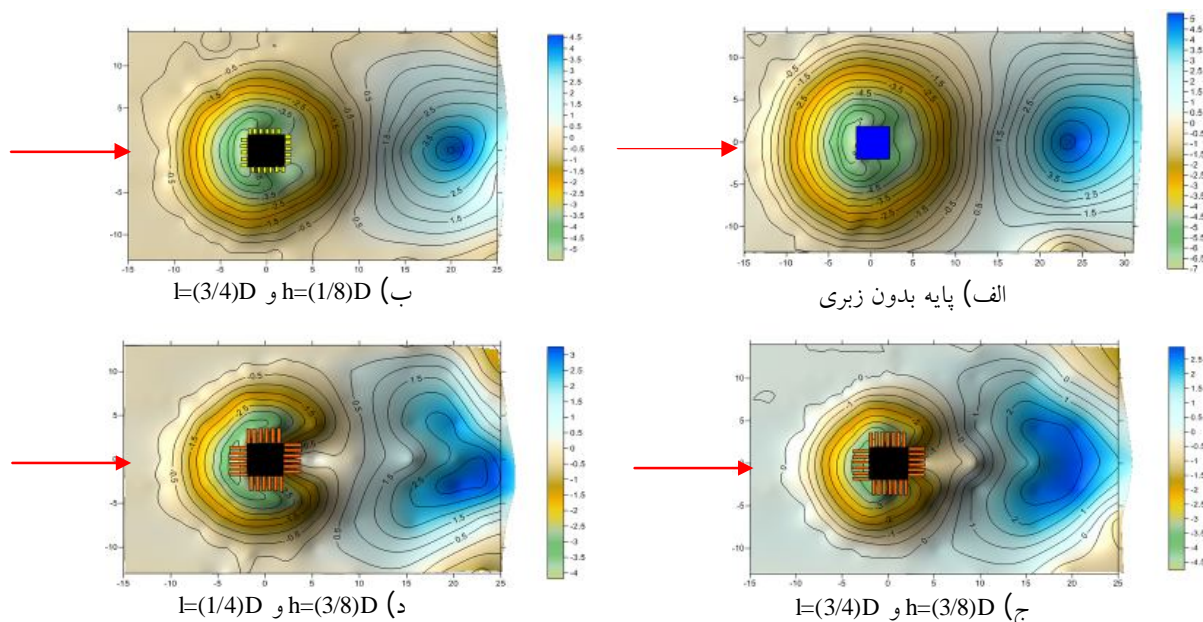
نتایج نشان می‌دهد که با کاهش فواصل قرارگیری این زبری‌ها در طول پایه، میزان آبستگي نیز کاهش می‌یابد بطوری که برای زبری‌های با ارتفاع  $h=(3/8)D$  و فواصل قرارگیری  $l=(1/4)D$  قدرت جریان‌های رو به پایین و گرداب‌های نعل اسبی تا حد زیادی کاهش می‌یابد. در ضمن برای این حالت زبری‌ها، فعالیت گرداب‌های برخاستگی نیز به شدت کاهش یافته، به طوری که بیشتر فعالیت این گرداب‌ها به جابجا کردن و حمل ذرات کنده شده توسط گرداب‌های نعل اسبی محدود می‌شود. شکل 8 تصویر پایه پل مجهز به زبری را پس از انجام آزمایش نشان داده است. جهت جریان در شکل نشان داده شده است.



شکل 8 تصویر پایه پل و زبری‌های مورد استفاده در آزمایش، قبل از زهکشی کامل با مشخصات:  $h=(3/8)D$ ،  $b=(1/16)D$  و  $l=(1/4)D$

جدول 1 حداکثر عمق آبشستگی برای زبری‌های مختلف بر حسب میلی‌متر

فواصل قرارگیری		(l/D) = (1/4)	(l/D) = (2/4)	(l/D) = (3/4)
ابعاد زبری				
(b/D) = (1/16)	h/D=(1/8)	59	52	55
	h/D=(2/8)	53	49	53
	h/D=(3/8)	41/5	42/5	48
(b/D) = (2/16)	h/D=(1/8)	61	54	55
	h/D=(2/8)	51	48	53
	h/D=(3/8)	43	46	52
(b/D) = (4/16)	h/D=(1/8)	58	55	58
	h/D=(2/8)	52	45/5	52
	h/D=(3/8)	43/5	45	48



شکل 9 منحنی تراز حفره آبشستگی برای پایه بدون زبری و با زبری‌های  $b=(1/16)D$ ,  $D=40mm$ . (اعداد بر حسب سانتی‌متر)

است. در موقعیت عرضی نیز در هر چهار حالت، می‌توان تقارن در الگوی بستر در اطراف پایه‌ها را مشاهده کرد. با توجه به شعاع آبشستگی در اطراف پایه بدون زبری نسبت به حالت‌های مختلف زبری، می‌توان به تأثیر زبری‌ها بر کاهش میزان آبشستگی پی‌برد و با توجه به شعاع آبشستگی در اطراف پایه با حالت‌های مختلف زبری، می‌توان گفت که حفره آبشستگی در حالت پایه با زبری‌های کوچکتر و با فواصل قرارگیری بیشتر نسبت به

همانطور که از شکل‌ها مشاهده می‌شود می‌توان گفت گسترش حفره آبشستگی، به وجود زبری و ارتفاع زبری‌ها و نیز فواصل قرارگیری زبری‌ها نسبت به هم بستگی دارد، به طوری که با افزایش ارتفاع زبری و نیز با کاهش فواصل قرارگیری زبری‌ها نسبت به هم، ابعاد چاله آبشستگی نیز کمتر خواهد شد. همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، در تمامی حالت‌ها حداکثر عمق آبشستگی در جلوی پایه رخ داده

بدون زبری و سپس برای پایه مجهز به زبری یاد شده، انجام و سپس پروفیل‌های طولی و عرضی آبشستگی آن‌ها رسم شد. در تمامی آزمایش‌ها عمق آب همانند قبل 22 سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

### - تغییرات پروفیل‌های طولی حفره آبشستگی

شکل 10 تغییرات ناشی از آبشستگی موضعی بر توپوگرافی بستر اطراف پایه پل در شرایط جریان متفاوت را نشان می‌دهد. با توجه به شکل 10 مشاهده می‌شود با افزایش شدت جریان، فرایند فرسایش از شدت بیشتری برخوردار گشته و بر ابعاد حفره آبشستگی افزوده شده است. پشته رسوبی تشکیل شده در پایین دست پایه نیز با افزایش سرعت جریان در طول کانال گسترش پیدا می‌کند.

پایه با زبری‌های بلندتر و فواصل قرارگیری کمتر دارای شعاع بزرگتری می‌باشد. با مقایسه بین مدل‌های نشان داده شده در شکل 9 می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر ایجاد زبری با ارتفاع مناسب، فواصل قرارگیری مناسب نیز می‌تواند در کاهش میزان آبشستگی موضعی مؤثر باشد.

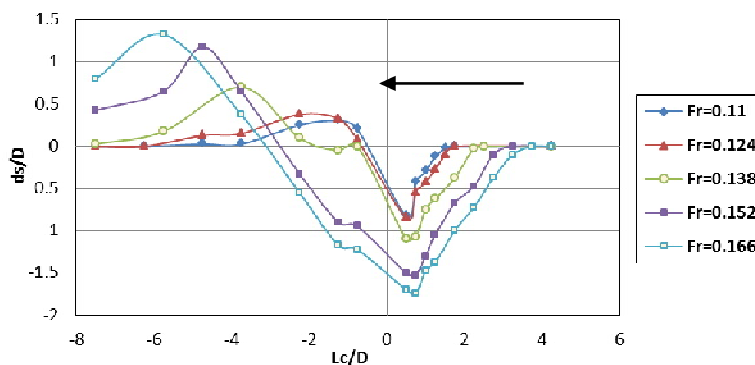
### 3-3- بررسی تأثیر شرایط جریان متفاوت

نتایج نشان می‌دهد که بیشترین کاهش میزان عمق آبشستگی در حالت، زبری با مشخصات  $h=(3/8)D$  و  $b=(1/16)D$  رخ داده است که به همین منظور برای پایه با این نوع زبری پنج نسبت سرعت:

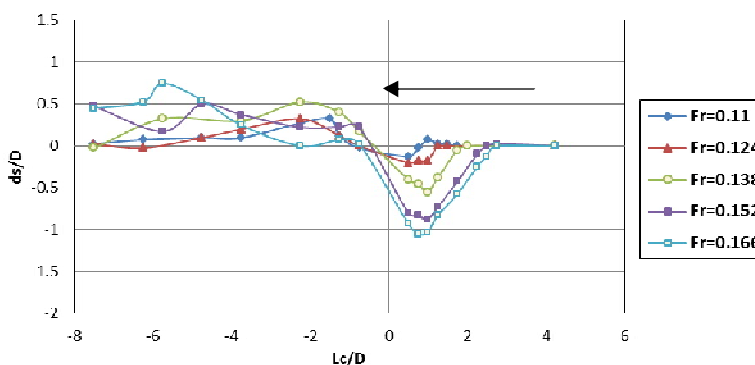
$$u/u_c = 0.62, 0.697, 0.775, 0.852, 0.93$$

$$(F_r = 0.11, 0.124, 0.138, 0.152, 0.166)$$

برای بررسی تأثیر شرایط جریان متفاوت انتخاب و بررسی شد. از همین رو ابتدا آزمایش برای حالت پایه



الف) پایه پل بدون زبری



ب) پایه پل مجهز به زبری

شکل 10 تغییرات پروفیل طولی بستر در اطراف پایه پل با و بدون زبری در شرایط جریان متفاوت



حفره آبستگي در اين ناحيه مشاهده مي شود. به اين نکته نيز بايد توجه داشت که حداکثر عمق آبستگي برای جريان های با شدت پايين در طرفين محل دماغه پایه اتفاق می افتد، در صورتی که با افزایش شدت جريان ( $Fr=0.152, 0.166$ )، حداکثر عمق آبستگي در مرکز دماغه پایه و با فاصله ای در حدود  $1/4$  الی  $1/2$  عرض پایه از پایه ایجاد می شود. شکل 12 تصویر پایه مورد استفاده در آزمایش ها و نیز محل تشکیل حداکثر عمق آبستگي را نشان می دهد.

### 3-4- تغییرات میزان کاهش عمق آبستگي برای

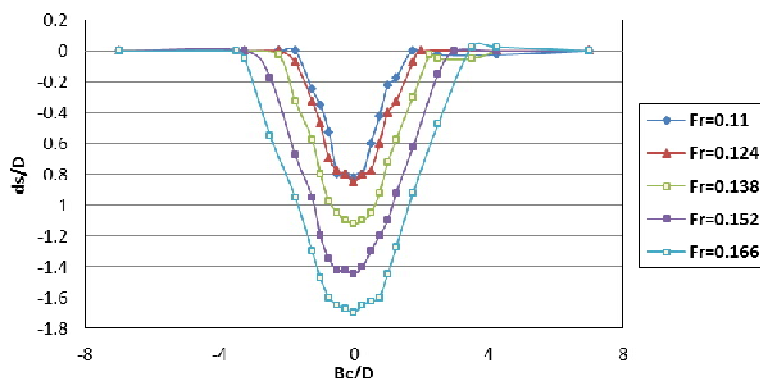
#### شرایط متفاوت جريان

شکل 13 درصد کاهش عمق آبستگي را در شرایط جريان متفاوت، نسبت به پایه بدون زبری نشان می دهد. با توجه به شکل 13 ملاحظه می شود که با افزایش عدد فرود درصد کاهش میزان عمق آبستگي کاهش می یابد.

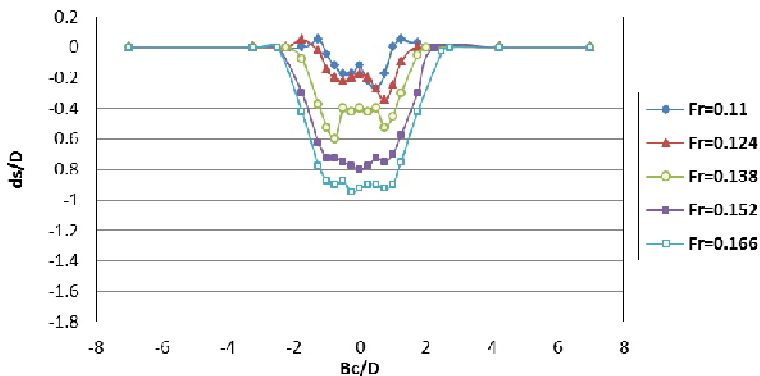
بطور کل می توان گفت که با افزایش شدت جريان، گسترش حفره آبستگي و پشته رسوبي در طول کانال به سمت پايين دست اتفاق می افتد. تفاوت پروفيل ها نشان دهنده حساسيت زياد مصالح بستر به تغييرات عوامل هیدرولیکی جريان همچون دبي و سرعت و همچنین عدد فرود جريان بوده که در شکل ها دیده می شود. در اين شکل ها، حداکثر عمق آبستگي و حداکثر ارتفاع پشته رسوبي برای هر آزمایش نشان داده شده است. در اين شکل ها  $L_c$  و  $B_c$  به ترتيب طول و عرض کانال آزمایش می باشند.

### - تغییرات پروفيل های عرضی حفره آبستگي

با توجه به شکل 11، در پروفيل های عرضی ترسیم شده در محل دماغه پایه برای پنج حالت متفاوت جريان و برای هر دو حالت پایه با زبری و بدون زبری، مشاهده می شود که شکل کیفی پروفيل های عرضی تقریباً مشابه یکدیگر بوده و تنها با افزایش شدت جريان گسترش ابعاد



الف) پایه پل بدون زبری

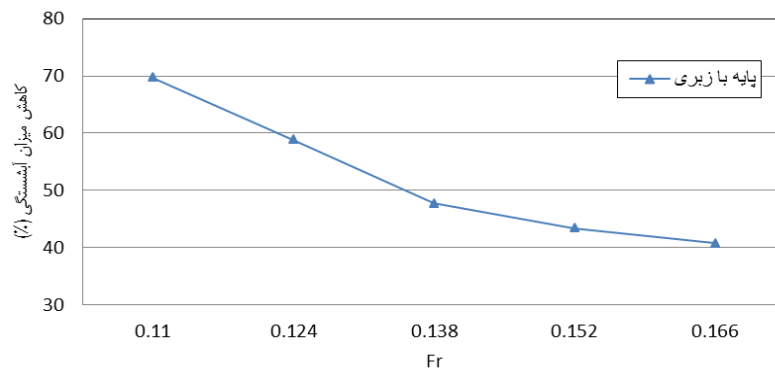


ب) پایه پل مجهز به زبری

شکل 11 تغییرات پروفيل عرضی بستر در اطراف پایه پل با و بدون زبری در شرایط جريان متفاوت



شکل 12 نمایی از پایه مجهز به زبری و نیز محل تشکیل حداکثر عمق آبشستگی در جریان با عدد فرود  $Fr=0.166$



شکل 13 در صد کاهش عمق آبشستگی در شرایط جریان متفاوت

پل مربعی شکل، مورد آزمون قرار گرفتند.

جدول 2 نتایج آزمایش‌ها برای شرایط جریان متفاوت

Fr	نوع پایه	حداکثر عمق آبشستگی (mm)	میزان کاهش عمق آبشستگی (%)
0/166	بدون زبری	70	-
	با زبری	41/5	41
0/152	بدون زبری	60	-
	با زبری	34	43
0/138	بدون زبری	44	-
	با زبری	23	48
0/124	بدون زبری	34	-
	با زبری	14	59
0/11	بدون زبری	33	-
	با زبری	10	70

حداکثر این کاهش در  $Fr=0.166$  یعنی در نزدیکی شرایط آستانه حرکت می‌باشد. شیب این نمودار حاکی از تأثیر زیاد شرایط جریان بر شدت فرسایش می‌باشد. نتایج آزمایش‌های به عمل آمده در شرایط جریان متفاوت، در جدول 2 به صورت کامل ارائه شده است.

در این جدول حداکثر عمق آبشستگی برای پایه شاهد و پایه مجهز به زبری برای شرایط جریان متفاوت و نیز درصد کاهش میزان آبشستگی برای حالت پایه با زبری ارائه شده است.

#### 4- نتیجه گیری

در این تحقیق تأثیر ایجاد زائده‌های مستطیلی شکل حول پایه پل، با ابعاد مختلف و با فواصل قرارگیری متفاوت نسبت به هم، به منظور کاهش آبشستگی در اطراف پایه

## 5- منابع

شجاعی، پ.، فرسادی زاده، د. و حسین زاده دلیر، ع. (1390). "تأثیر توأم صفحات مستغرق و طوق در کاهش عمق آبستگي پایه های استوانه ای شکل پل ها"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال پانزدهم، شماره پنجاه و هفتم، ص.ص. 23-33.

شفاعی بجستان، م. (1387). هیدرولیک انتقال رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

نوری فر، م.، مغربی، م. و حسن زاده، ی. (1389)، "مقایسه عددی کاهش آبستگي موضعی اطراف پایه پل شکاف دار و دو پایه پل مجزا"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد.

Breusers, H.N.C., Nicollet, G. and Shen, H. W. (1997). "Local scour around cylindrical piers", Journal of Hydraulic Research, 15(3), pp. 211-252.

Chiew, Y.M. and Melville, B.W., (1987). "Local scour around bridge piers", Journal of Hydraulic Research, Vol. 25, No. 1, pp. 15-26.

Ettema, R. E. (1980). "Scour at Bridge Piers", Rep. No. 236, School of Engineering., The University of Auckland, New Zealand.

Raudkivi, A.J. (1998). *Loose Boundary Hydraulics*. A. A. Balkema. Rotterdam, The Netherland.

Raudkivi, A. J., and Ettema, R. (1983). "Clear-water scour at cylindrical piers", Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 109, No. 3, pp. 338-350.

Melville, B. W. (1997), "Piers and abutment scour: integrated approach", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 2, pp. 125-136.

متغیرهای مؤثر در این تحقیق ابعاد زبری و فواصل قرارگیری هر ردیف زبری نسبت به هم و شرایط متفاوت جریان بود. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که:

1- بطور کلی زبری ها باعث کاهش عمق آبستگي نسبت به حالت بدون زبری می شوند.

2- زبری هایی که محدوده بالای بستر را پوشش می دهند، باعث کاهش قدرت جریان های رو به پایین و زبری-هایی که در محدوده زیر بستر قرار می گیرند باعث کاهش فعالیت گرداب های نعل اسبی می شوند.

3- در تمام فواصل قرارگیری زبری ها نسبت به هم، به ازای افزایش ارتفاع زبری، عمق آبستگي کاهش می یابد.

4- با کاهش فواصل قرارگیری هر ردیف از زبری ها در طول پایه، کاهش بیشتر میزان آبستگي برای زبری های با ارتفاع های بزرگتر، اتفاق می افتد.

5- بیشترین کاهش عمق آبستگي در این تحقیق برای زبری با ارتفاع  $h=(3/8)D$ ، عرض  $b=(1/16)D$  و فواصل قرارگیری  $l=(1/4)D$  ایجاد شد.

6- با افزایش عدد فرود، درصد کاهش میزان عمق آبستگي کاهش می یابد. حداکثر این کاهش در  $Fr=0.166$  یعنی در نزدیکی شرایط آستانه حرکت ذرات بستر می باشد.

7- بطور کلی نتایج نشان داد که زبری می تواند تا 70 درصد باعث کاهش عمق آبستگي پایه شود که میزان این کاهش به نحوه چیدمان زبری، ابعاد و شرایط جریان بستگی دارد.