

بررسی آزمایشگاهی تأثیر توأم صفحات مستغرق و سنگ چین بر میزان کاهش آبستگی گروه پایه‌های پل استوانه ای

ابراهیم نوحانی*^۱، منصور خواجه موگهی^۲، رضا فرزاد^۳

۱- گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، Nohani_e@yahoo.com

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران - سازه‌های هیدرولیکی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دزفول، ایران، reza.farzaad@yahoo.com

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دزفول، ایران، reza.farzaad@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۵

چکیده

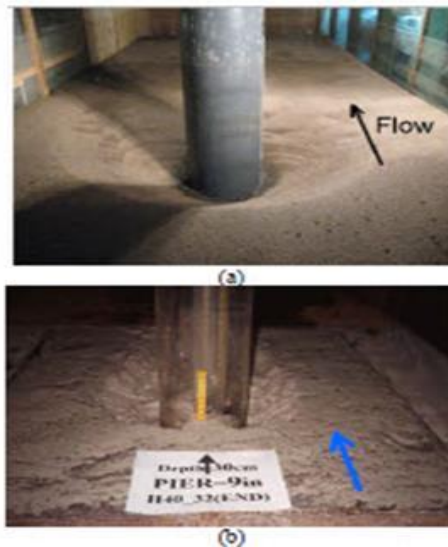
یکی از روش‌های کاهش آبستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل استفاده از صفحات مستغرق و سنگ چین است. در این پژوهش با استفاده از مدل آزمایشگاهی تأثیر توأم سنگ چین و تکنیک صفحات مستغرق، سعی در کاهش آبستگی حول پایه‌های پل را داریم. برای انجام این آزمایش از فلوم آزمایشگاه هیدرولیک آموزش‌شده صنعت آب و برق خوزستان استفاده شد. پایه‌های مورد استفاده با مقطع استوانه‌ای و به قطر ۵ سانتی‌متر و سنگ چین با دانه‌هایی به قطر ۱، ۱/۵ و ۲/۵ سانتی‌متر و صفحات مستغرق به تعداد ۲، ۴ و ۶ صفحه که با اعداد فرود ۰/۲۰، ۰/۲۲ و ۰/۲۵ مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفتند. سپس با استفاده از آنالیز ابعادی به روش باکینگهام پارامترهای مورد نیاز جهت انجام آزمایش به دست آمد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان دادند که افزایش قطر سنگ چین و تعداد صفحات مستغرق باعث کاهش نسبت درصد عمق آبستگی به میزان قابل ملاحظه‌ای شده است. به طور میانگین بیشترین مقدار برای پایه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب برابر ۹۲، ۹۵ و ۹۸ درصد بدست آمد، که نشان داد با افزایش سرعت جریان (عدد فرود)، میزان فرسایش (آبستگی) نیز افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: آبستگی، پایه پل، سنگ چین، صفحات مستغرق

مقدمه

جریان به سمت بالا بر می‌گردد و با جریان عمومی رودخانه برخورد می‌کند و بلافاصله به پایه برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت آن به داخل حفره ایجاد شده جریان گردابی را تشکیل می‌دهد که در طرفین پایه، امتداد می‌یابد که به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند (۸). شکل ۱ مکانیسم آبستگی موضعی و گرداب‌ها را در اطراف پایه استوانه‌ای نشان می‌دهد.

آبستگی یکی از مسائل مهم در تخریب پایه پل‌های احداث شده بر روی رودخانه‌ها است. تخریب این پل‌ها نه به دلایل سازه‌ای، بلکه به دلیل در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پل‌هاست. با برخورد جریان به پایه پل سامانه‌های گردابی شامل گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی به وجود می‌آید. جریان روبه پایین پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر، به طرفین پراکنده می‌شود. مقداری از این



شکل ۱- نمایش الگوی سه بعدی جریان اطراف پایه پل

گیری پایه های پل در زاویه ۱۰ درجه علاوه بر کاهش آبشستگی عملی تر و مقرون به صرفه می باشد (۴). امیرسالاری میمنی و همکاران به بررسی تعیین موقعیت بهینه شکاف در صفحه مستغرق مثلثی متصل به ساحل در قوس ۹۰ درجه پرداختند، نتایج آنها نشان داد که صفحه اول بهترین عملکرد را در کاهش حجم، طول و عرض آبشستگی داشته است (۱).
 Debnath و Chaudhuri، مطالعات آزمایشگاهی روی آبشستگی موضعی اطراف پایه استوانه ای در بستر حاوی مخلوط ماسه رسی انجام دادند و اثر محتوای رس، محتوای آب، توان برشی بستر و عدد فرود پایه روی مکانیسم فرایند آبشستگی، حداکثر عمق تعادل آبشستگی، هندسه چاله آبشستگی و تغییرات زمانی آبشستگی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات زمانی عمق آبشستگی در بستر ماسه ای فاقد رس در بالادست و پایین دست و کناره های پایه فقط تابع زمان است ولی در مخلوط ماسه رسی تابعی از عدد فرود پایه و محتوای رس می باشد (۱۰).
 خسرونژاد و همکاران، آزمایشات را روی آبشستگی در شرایط آب زلال اطراف سه پایه پل با مقطع عرضی استوانه ای و مربعی و لوزی انجام دادند. برای دست

دو مکانیزم مهم که باعث پیچیده تر شدن الگوی آبشستگی در حالت گروه پایه نسبت به تک پایه میشود عبارت است از عامل تقویت کننده (Reinforcing) و عامل حفاظت کننده (Sheltering). عامل تقویت کننده باعث افزایش عمق آبشستگی در پایه جلویی می شود و عامل حفاظ بودن به این معناست که وجود پایه بالادست سبب کاهش سرعت جریان و در نهایت کاهش آبشستگی در پایه پایین دست می شود (۱۳).
 آبشستگی موضعی که به دلیل سازه های ساخت بشر در مسیر جریان رودخانه ها به وقوع می پیوندد، می تواند به فرم های مختلف باعث فرسایش کف رودخانه شده و تهدیدی در جهت تغییر رژیم طبیعی جریان رودخانه محسوب می شود. مطالعات دارای اهمیت ویژه ای در ساماندهی رودخانه و تعیین حریم و بستر رودخانه می باشد. عوامل متعدد هیدرولیکی باعث می شود که پدیده آب شستگی در محل سازه های آبی که در ساحل رودخانه ها احداث می شوند، تشدید شود (۶).
 فرزاد به بررسی آبشستگی در گروه پایه های پل با زوایای مختلف و دانه بندی متفاوت رسوب با استفاده از نرم افزار FLOW3D پرداخت و دریافت که زاویه قرار

پایه پل و کاربرد گسترده گروه پایه به جای تک پایه در طراحی پل ها، در این پژوهش بر تأثیر عدد فرود با ترکیب توأم سنگ چین به همراه صفحات مستغرق و همچنین روش نوین ترکیب آن ها، به مطالعه و کنترل آبشستگی در گروه پایه پرداخته شده که تا کنون بررسی نگردیده است.

مواد و روش‌ها

تئوری π با کینگهام

این تئوری بیان می کند که در یک مسئله فیزیکی که n کمیت و m بعد وجود دارد، این کمیتها را می توان بصورت $(n-m)$ گروه بدون بعد مستقل مرتب کرد. فرض کنید کمیت‌های مورد نظر فشار، لزجت، سرعت و غیره باشند. اگر مشخص گردد که تمام این کمیتها در حل مسئله مهم و حیاتی هستند، باید رابطه آنها به شکل زیر باشد:

$$(Af) = nA1, A2, \dots \quad (1)$$

اگر π_1, π_2, \dots نمایانگر گروه‌های بدون بعد مربوط به کمیت‌های $A, A2, \dots, A1$ باشند در آنها m بعد وجود داشته باشد، معادله به شکل زیر خواهد شد:

$$f\pi(n-m) = \pi_1, \pi_2, \dots \quad (2)$$

روش تعیین پارامترهای π است که از کمیت‌هایی که تعداد m عدد را که دارای n بعد اصلی میباشند، به عنوان متغیرهای تکراری انتخاب کرده و سپس برای تشکیل هر گروه π متغیرهای تکراری با یک کمیت غیر تکراری A استفاده خواهد شد. برای مثال فرض کنید $A1, A2, A3$ متغیرهای تکراری باشند، که در آنها (M) بعد جرم، (L) بعد طول و (T) بعد زمان است. بنابراین اولین گروه π عبارت خواهد بود از:

$$\pi_1 = A1X1.A2Y1.A3Z1.A4 \quad (3)$$

و دومین گروه π به صورت:

$$\pi_2 = A1X2.A2Y2.A3Z2. \quad (4)$$

یافتن به کانال هایی با بستر متحرک و سازه های هیدرولیکی جاسازی شده در آن از روش مرز تعامل منحنی الخط غوطه ور سازه و سیال (FSI-CURVIB)، استفاده نمودند. مدل هیدرودینامیکی، معادله های ناویر استوکس متوسط رینولدزی ناپایدار (URANS)، را با مدل آشفتگی $k - \omega$ حل نمود. شبیه سازی فرسایش بستر به وسیله حل معادله پیوستگی رسوب لایه بار بستر با استفاده از روش حجم محدود انجام شد. مطالعه های حساسیت شبکه مش بندی برای بررسی میزان وضوح و دقت شبکه ها روی ظرفیت پیش بینی مدل انجام گردید. مقایسه شبیه سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی نشان داد برای هر سه حالت نتایج قابل قبول می باشند. بزرگترین یافته ایشان این بود که توانایی پیش بینی مدل مورفودینامیک (URANS) در نمایش وضعیت انتقال رسوبات به وسیله لایه های برشی که از لبه های تیز پایه لوزی شکل شروع به جابجایی می کند، بسیار بالا است. در پایه های دیگر که دارای نوک تیز در مقابل جریان نیستند، یعنی پایه مربعی و دایره ای، مدل (URANS) نمی تواند انرژی سیستم گرداب نعل اسبی را در محل تقاطع پایه با بستر به خوبی حل نماید، بنابراین مقادیر مربوط به عمق چاله در نوک پایه و سرعت آبشستگی در این دو پایه کمتر از مقادیر آزمایشگاهی پیش بینی شد (۲).

نوحانی و همکاران، طی بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکاف پایه بر میزان آبشستگی اطراف پایه پل استوانه در قوس رودخانه را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بکارگیری شکاف در پایه های پل در میزان کاهش آبشستگی موثر است و شکافی که از بستر شروع می شود و تا سطح آب ادامه پیدا کند نسبت به سایر موقعیت های قرارگیری شکاف مؤثرتر است و می تواند تا ۴۴ درصد باعث کاهش آبشستگی نسبت به حالت بدون شکاف پایه شود (۷).

مطالعات زیادی در زمینه کنترل آبشستگی موضعی در گروه پایه ها وجود ندارد و تمرکز مطالعات روی تک پایه می باشد. با توجه به اهمیت موضوع آب شستگی

عبوری از کانال در ۳ مقدار (۲۳، ۲۵، ۲۸) مترمکعب بر ساعت پیش‌بینی گردید و همچنین آزمایش‌ها در شرایط آب زلال صورت گرفت که در هر آزمایش عمق آبشستگی و محدوده آن برداشت گردید و در شرایط مختلف با یکدیگر مقایسه شد.

در کلیه آزمایش‌ها برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی، طبق توصیه‌های Chiew، قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد عمل شد (۹). لذا برای مدل کردن پایه‌ها ی پل از لوله PVC به قطر ۵۰ میلی متر استفاده شد. به توصیه راودکیوی و اتما برای جلوگیری از تشکیل رپیل قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی متر بزرگ تر باشد. همچنین برای حذف اثر رسوبات روی عمق آبشستگی نسبت قطر پایه به متوسط قطر ذرات باید کمتر از ۵۰ باشد. در همین راستا Ettema، این نسبت را بین ۳۰-۲۵ پیشنهاد کرد (۱۱). با توجه به این موارد یک لایه از ماسه طبیعی رودخانه‌ای با قطر ۰/۹ میلی متر و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۱۵ سانتی متر برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. طبق توصیه Oliveto و Higer، برای جلوگیری از اثرات زبری عمق آب را بیشتر از ۲۰ میلی متر پیشنهاد کرده‌اند، که در کلیه آزمایش‌ها عمق آب متغیر و بیش از این مقدار بود (۱۲). با توجه به اینکه آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد، لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی $u < u_c$ باشد. در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت متوسط جریان u ، به سرعت بحرانی u_c ، ۰/۹۳ بود. براساس مطالعه چپو اگر قطر دانه‌های سنگ چین نسبت به قطر پایه بیش از حد بزرگ باشد، الگوی تغییر جریان موضعی در محل پایه اثر نامحسوسی در ناپایداری لایه سنگ چین دور پایه دارد. همچنین اگر $d/dR < 2/25$ ، dR قطر متوسط ذرات سنگ چین؛ آنگاه وجود

خواهد بود و به همین ترتیب تا آخرین گروه که به صورت زیر می باشد:

(۵)

$$3Zn-m. A2Yn-m. A1Xn-m = \pi n-m$$



در معادلات فوق (گروه‌های بی بعد) باید توان‌ها طوری تعیین شوند که هر π بدون بعد باشد. ابعاد کمیت‌های A در روابط جایگزین و مجموع هر یک از توان‌های M و L و T برابر با صفر در نظر گرفته می شوند. این عمل منجر به ایجاد سه معادله بر حسب a, b, c از پارامترها می شود. از حل همزمان این سه معادله، مقادیر a, b, c تعیین می شود و در نتیجه گروه π را میتوان بدست آورد (۵).

مراحل ساخت مدل فیزیکی

با توجه به هدف پژوهش حاضر که بررسی آزمایشگاهی تأثیر توأم صفحات مستغرق و سنگ چینی بر میزان کاهش آبشستگی گروه پایه‌های پل استوانه‌ای می باشد، اقدام به طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی این تحقیق گردید. آزمایش‌ها در فلوم آزمایشگاه هیدرولیک آموزشده صنعت آب و برق خوزستان انجام شد. این فلوم دارای دیواره شیشه‌ای به طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر می باشد. همچنین از یک دبی سنج جهت نمایش دبی عبوری استفاده شد. انتقال آب از مخزن اصلی آزمایشگاه به کانال در یک مدار بسته توسط یک دستگاه پمپ انجام می شود، همچنین یک سرریز مستطیلی قابل تنظیم در پایین دست کانال نصب شده است که به وسیله آن می توان عمق آب را تنظیم کرد. آزمایش‌ها بر روی ۳ پایه استوانه‌ای از جنس پی‌وی‌سی که به صورت گروه پایه متوالی با فاصله سه برابر قطر پایه از یکدیگر درون فلوم آزمایشگاهی قرار داده شد ($d_p = 5 \text{ cm}$). برای این آزمایش تعداد ۲، ۴ و ۶ صفحه مستغرق و سه سایز سنگ چین ($D50 = 2 \text{ cm}$ ، $D50 = 1/5 \text{ cm}$)، $D50 = 1$) بر روی بستر ماسه دانه بندی شده با دبی

پایه در ناپایداری سنگ چین دور آن بی تأثیر است. جدول (۱) برنامه آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق را نمایش می‌دهد.

جدول ۱- فهرست سناریوهای آزمایش

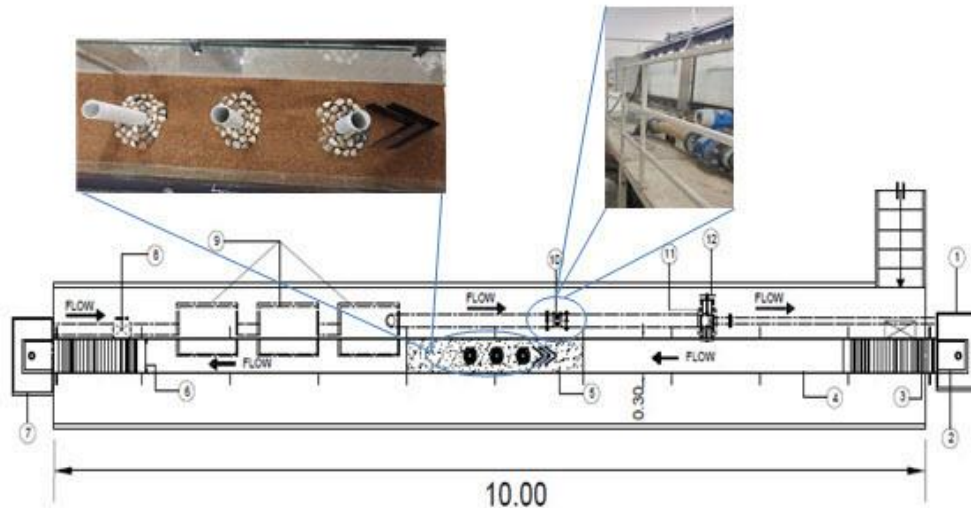
نوع آزمایش	شکل	قطر سنگچین (cm)	تعداد صفحات مستغرق	دبی (m ³ /h)	قطر پایه‌ها (cm)	عدد فرود Fr
		d _g	N _v	Q	D _p	
آزمایش شاهد بدون سنگ چین و صفحات مستغرق		-	-	۲۳	۰/۲۰	
		-	-	۲۵	۰/۲۲	۵
		-	-	۲۸	۰/۲۵	
آزمایش با سنگ چین و صفحات مستغرق		۱	۲	۲۳	۰/۲۰	
		۱/۵	۴	۲۵	۰/۲۲	۵
		۲		۲۸	۰/۲۵	

برسد، که این میزان عمق، دبی مورد نظر را تأمین می‌نمود. پس از اطمینان از شروع جریان یکنواخت، این آزمایش تا مدت زمان ۳ ساعت به طول می‌انجامید که در پایان هر آزمایش شیر آب ورودی به آرامی بسته می‌شد و سرریز به آرامی بالا می‌آمد تا از شسته شدن رسوبات و وارد شدن به گودال آبشستگی جلوگیری شود. با گذشت زمان و پس از زهکشی و خشک شدن سطح رسوبات، با استفاده از یک متر لیزری که روی یک صفحه شیشه‌ای مشبک که به شبکه‌های ۲*۲ سانتی متر تقسیم بندی شده بود، بر روی محل گودال آبشستگی قرار می‌گرفت و پروفیل برداشت می‌گردید شکل ۶ پلان فلوم آزمایشگاهی و منطقه انجام آزمایش

بر اساس آنچه که در جدول برنامه آزمایش‌ها ارائه شده، جهت انجام آزمایش‌های مورد هدف در این پژوهش، روش کار به این صورت بود که ابتدا رسوبات ماسه‌ای توسط ارابه مسطح کننده تسطیح و سپس سرریز انتهایی فلوم را بسته و پس از روشن نمودن پمپ، شیر ورودی آب به آرامی باز و سرریز انتهایی کانال که برای تنظیم عمق جریان تعبیه شده بود بالا نگه داشته می‌شد تا آب به آرامی وارد رسوبات شده و سطح آن به هم ریخته نشود، سپس به آرامی شیر آب بازتر می‌شد تا پشت سرریز از آب پر شود و هم‌زمان دبی جریان نیز کنترل می‌گردید. پس از آن سرریز به آرامی پایین آورده می‌شد تا عمق جریان به ۱۰ سانتی متر

گیری می شد. این بخش از آزمایشات بسیار زمان بر بود و هرکدام از این آزمایش ها بمدت ۷ ساعت بطول انجامید.

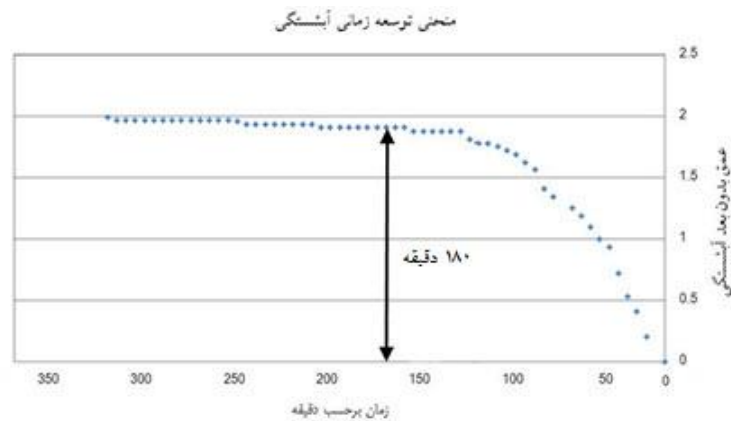
ها را نشان می دهد. قبل از شروع آزمایش رسوبی ، برای هر شیب ، آزمایش زمان تعادل انجام شد. این آزمایش بدین شکل انجام گردید که هر بار در فواصل معین عمق آبشستگی توسط دستگاه گیج پوینت اندازه



شکل ۲- پلان فلوم آزمایشگاهی و منطقه انجام آزمایش

در این آزمایش عمق آبشستگی توسط دستگاه گیج پوینت در بازه های زمانی مشخصی اندازه گیری شد. این بخش از آزمایش ها بسیار زمان بر بود و هرکدام از آزمایش ها به مدت ۷ ساعت بطول انجامید. شکل (۲) زمان تعادل برای هر آزمایش را نشان می دهد که تقریباً برابر ۳ ساعت بود.

فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده شامل مخزن ذخیره آب، هدتانک انتقال دهنده آب به فلوم، دریچه آرام کننده جریان آب ورودی به فلوم، سازه فلوم، محدوده بستر ماسه ای جهت انجام آزمایشات، سرریز انتهایی، سیستم تخلیه آب، شیرکشویی تخلیه آب مخزن انتهایی، مخازن جمع آوری و انتقال آب به مخزن اصلی، دی سنج، شیر تنظیم آب ورودی به مخزن اصلی و پمپ آب می باشد.



شکل ۳- نمودار زمان تعادل آزمایشات

رسوبگذاری ها به تدریج به سمت پایین دست انتقال می یافتند. پس از توسعه حفره آبشستگی و مستهلک شدن گرداب های نعل اسبی درون حفره، رسوبات تنها درون چاله حرکت می کردند و به پایین دست حرکت نمی کردند. سرعت گسترش آبشستگی در لحظات اول زیاد بود و پس از مدتی به آرامی ادامه یافت.

آزمایش با حضور صفحات مستغرق و سنگ چین

در شکل ۲ سناریو های آزمایش نشان داده شده است. بدین منظور از یک، دو و سه صفحه مستغرق با فواصل آکس به آکس ۷/۵ سانتی متر از هم و با زاویه ۳۰ درجه نسبت به محور جریان استفاده شد. همچنین یک لایه سنگ چین به قطر های متغیر ۱، ۱/۵ و ۲ سانتی متر به ابعاد ۱۰×۱۰ در محدوده پایه قرار داده شد. با توجه به ثابت در نظر گرفتن قطر پایه ها عدد فرود متفاوت در آزمایشات لحاظ شد.

بررسی تأثیر توأم نسبت تغییر قطر سنگ چین به

قطر پایه (dg/d) و عدد فرود مختلف به ازای ۱ صفحه مستغرق (NV = ۱)

در این بخش از آزمایش تعداد صفحات مستغرق ۱ جفت و عمود بر هم و با زاویه ۳۰ درجه نسبت به محور جریان در نظر گرفته شد. موقعیت قرار گیری صفحات قبل از اولین پایه بود. سنگچین های مورد

نتایج و بحث

با استفاده از روش آنالیز ابعادی و تئوری باکینگهام نسبت به تعیین پارامترهای بی بعد مورد نیاز در آزمایش ها که شامل نسبت قطر سنگ چین به قطر پایه (dg/d) ، میزان آبشستگی به قطر پایه (ds/Dp) ، تعداد صفحات مستغرق (NV) و عدد فرود (Fr) می باشند استخراج گردید که مبنای انجام آزمایش های مذکور با توجه به اندازه گیری میزان عمق آبشستگی حاصل در اطراف گروه پایه های استوانه ای و درصد آبشستگی در هر یک از آزمایش ها به صورت نمودارهایی که نسبت به قطر پایه (Dp یا d) بی بعد شده اند، محاسبه و ترسیم گردید. که نتایج تجزیه و تحلیل مربوط به هر یک از آنها به صورت جداگانه ارائه شده است.

آزمایش بدون حضور صفحات مستغرق و سنگ

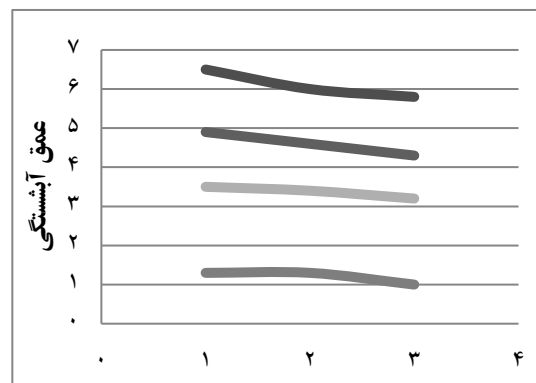
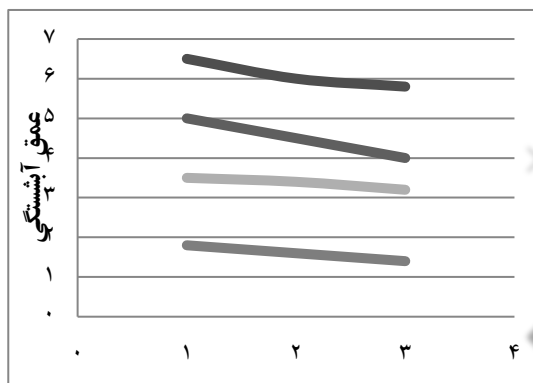
چین (شاهد)

در ابتدا آزمایش بدون حضور صفحات مستغرق و سنگچین با ۳ عدد فرود متفاوت انجام شد. طبق مشاهدات از همان لحظات ابتدایی آبشستگی با ایجاد گرداب های نعل اسبی آغاز شد و به سرعت افزایش می یافت. در این حالت آبشستگی از جلوی پایه و به صورت متقارن نسبت به محور پایه شروع شد و مواد رسوبی از جلو و اطراف پایه ها شسته و در پشت پایه جمع شده و رسوب گذاری شکل گرفت. همراه با جریان سیال این

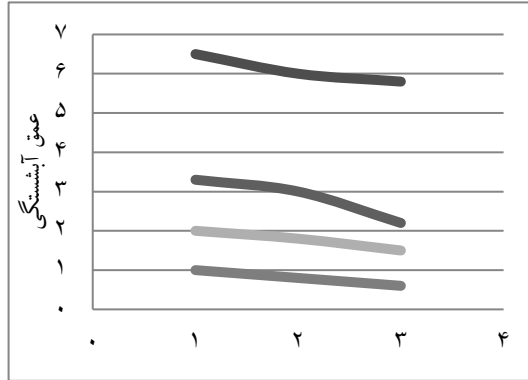
نمودارهای مذکور مقدار نسبت عمق آبشستگی (ds/Dp) از پایه ۱ تا ۳ روند کاهشی دارد. همچنین با توجه به شیب نمودارها، بیشترین نسبت عمق آبشستگی مربوط به پایه شماره ۱ می باشد، یعنی در گروه پایه با اعداد فرود مختلف و نسبت (dg/d) های متفاوت میزان نسبت عمق آبشستگی (ds/Dp) کاهش می یابد. به عبارت دیگر، تاثیر جریان های گردابی بر روی پایه های (۳ و ۲) به نسبت پایه (۱) بصورت محسوسی کاهش می یابد و با توجه به نمودارها، میزان (ds/Dp) به ترتیب برای پایه اول دوم و سوم، بیشترین مقدار ۴/۹، ۴/۶، ۴/۳ بدست آمده است. با توجه به نمودارهای میله ای شکل (۷)، (۸) و (۹) مشاهده می کنیم، که با اعداد فرود مختلف و نسبت (dg/d) متفاوت، بیشترین درصد میزان مقاومت در برابر عمق آبشستگی، مربوط به پایه اول ۸۵ درصد، پایه دوم ۸۷ درصد و برای پایه سوم ۹۰ درصد بوده است. شکلهای (۱۰) و (۱۱) گروه پایه را با حضور سنگ چین و نصب یک صفحه مستغرق در قبل و بعد از آبشستگی نشان می دهد.

استفاده با قطر های متفاوت، حول پایه ها قرار داده شدند. در این حالت وقتی صفحات مستغرق با داشتن ارتفاعی از سطح بستر به صورت یک مانع در برابر جریان قرار گرفته باشند، پس از برخورد جریان عمومی آب به آنها، به علت ایجاد فشار دینامیک، جریان رو به پایین در جلوی آنها شکل می گیرد (۳). وجود صفحات در جلوی پایه نوعی حفاظت برای رسوبات در مقابل گرداب نعل اسبی ایجاد کردند. زمانیکه جریان چرخشی گرداب نعل اسبی ایجاد می شد، این جریان با صفحات برخورد می کردند و مانع از ایجاد آبشستگی در پایه ها می شدند. پس می توان نتیجه گرفت صفحات مستغرق نقش انحراف دهنده جریان و همچنین انحراف دهنده رسوبات را دارند.

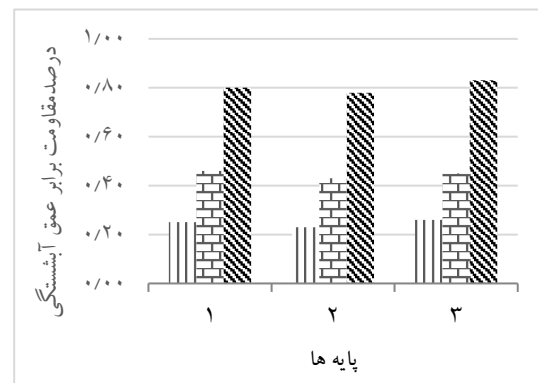
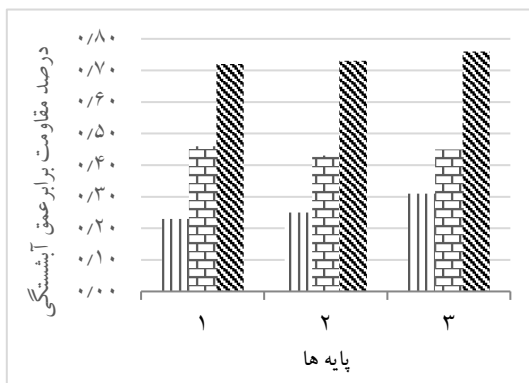
با توجه به نمودارهای شکل (۴) و (۵) و (۶) مشاهده می گردد که با در نظر گرفتن تعداد صفحات یکسان و افزایش نسبت (dg/d) به ازای اعداد فرود ۰/۲۰ و ۰/۲۲ و ۰/۲۵ شاهد کاهش نسبت (ds/Dp) هستیم که نشان دهنده آنست که نسبت (dg/d) با رابطه (ds/Dp) نسبت معکوس دارد و با توجه به



شکل ۴- بررسی پایه در $Fr = 0.20$ با $dg/d = 0.2$ و شکل ۵- بررسی پایه در $Fr = 0.22$ با $dg/d = 0.3$ و $NV = 1$

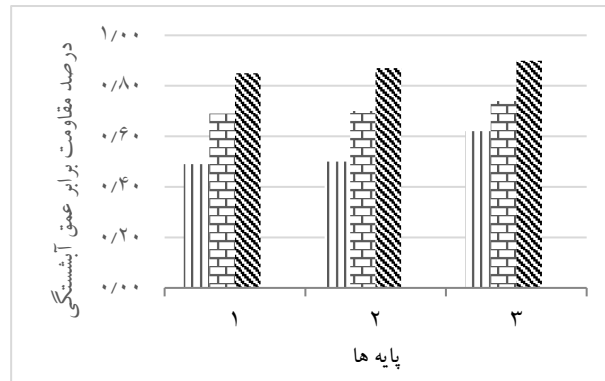


شکل ۶- بررسی پایه در $Fr = 0.25$ با $dg/d = 0.4$ و $NV = 1$



شکل ۸- بررسی درصد مقاومت در برابر آبشستگی پایه‌ها در $Fr = 0.22$ با $dg/d = 0.3$ و $NV = 1$

شکل ۷- بررسی درصد مقاومت در برابر آبشستگی پایه‌ها در $Fr = 0.20$ با $dg/d = 0.2$ و $NV = 1$



شکل ۹- بررسی درصد مقاومت در برابر آبشستگی پایه ها در $NV=1$ و $dg/d=0.4$ با $Fr=0.25$



شکل ۱۱- تصویر گروه پایه با حضور سنگ چین و نصب یک صفحه مستغرق بعد از آبشستگی



شکل ۱۰- تصویر گروه پایه با حضور سنگ چین و نصب یک صفحه مستغرق قبل از آبشستگی

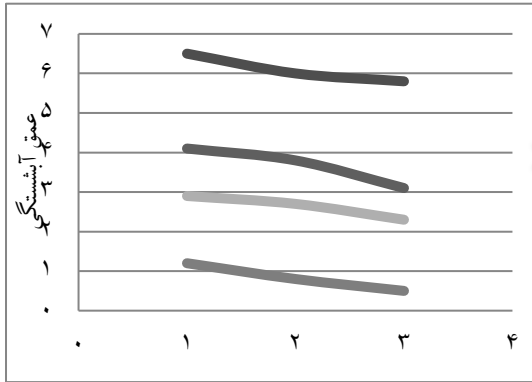
با توجه به نمودارهای شکل (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) مشاهده می شود، که با افزایش نسبت (dg/d) و نیز تغییر عدد فرود از 0.20 به 0.22 و 0.25 و همچنین در نظر گرفتن تعداد صفحات یکسان ($NV=2$)، نسبت عمق آبشستگی از پایه شماره ۱ تا ۳ کاهش پیدا می کند. به عبارتی با افزایش تعداد صفحات مستغرق، میزان عمق آبشستگی (ds/Dp) به ازای پایه های (۱)، (۲)، (۳) کاهش نشان داد که این مقدار به ترتیب برای پایه اول $4/8$ ، $4/1$ و $3/5$ ، برای پایه دوم $4/4$ ، $3/8$ و 3 و برای پایه سوم $3/7$ ، $3/1$ و $3/2$ بدست آمده است. همچنین با توجه به نمودار میله ای شکل های (۱۵)، (۱۶)، (۱۷)، با توجه به اعداد فرود مختلف و نسبت (dg/d) مختلف و تعداد صفحات مستغرق ثابت ($NV=2$) (= مشاهده می شود که بیشترین درصد میزان مقاومت

بررسی تأثیر توأم نسبت تغییر قطر سنگ چین به قطر پایه (dg/d) و عدد فرود مختلف به ازای ۲ صفحه مستغرق ($NV=2$)

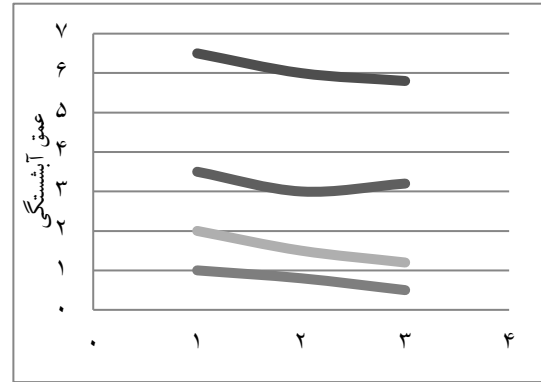
با افزایش تعداد صفحاتی، حفره آبشستگی ایجاد شده در اطراف صفحه ها مستهلک ترمی شد، اما به هر حال جریان های پایین رونده ناشی از گرداب نعل اسبی که در جلوی صفحات ایجاد می شد، باعث بیرون زدگی صفحات می گردید. در صورتی که سطح بالای صفحه همسطح با رسوبات بستر قرار می گرفت، جریان های پایین رونده در جلوی صفحات ایجاد نمی شدند. وجود سنگچین در اطراف پایه ها باعث کاهش قدرت گرداب های نعل اسبی و جریان های رو به پایین می شد و کاهش آبشستگی اطراف پایه ها را به همراه داشت.

برای آزمایش شاهد به مقدار (۶/۵، ۶، ۵/۸) بود که بحرانی‌ترین حالت را نشان داد. شکل‌های (۱۸) و (۱۹) گروه پایه را با حضور سنگ چین و نصب دو صفحه مستغرق در قبال و بعد از آبشستگی نشان می‌دهد.

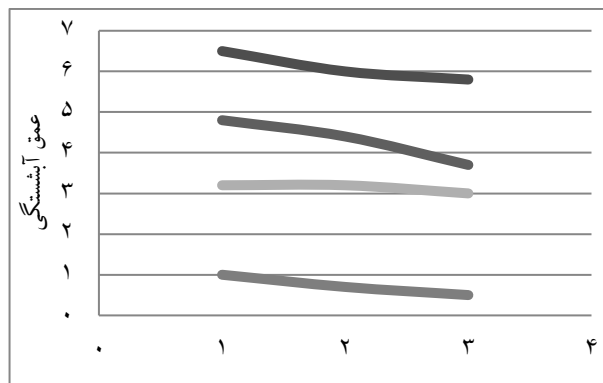
در برابر پارامتر عمق آبشستگی (ds/Dp) به ترتیب مربوط به برای پایه اول ۸۵ درصد، برای پایه دوم ۸۸ درصد و پایه سوم ۹۱ درصد می‌باشد، که نشان می‌دهد با افزایش تعداد صفحات با اعداد فرود مختلف و نسبت (dg/d) متفاوت میزان عمق آبشستگی پایه به شکل محسوسی روند کاهشی پیدا می‌کند. این میزان



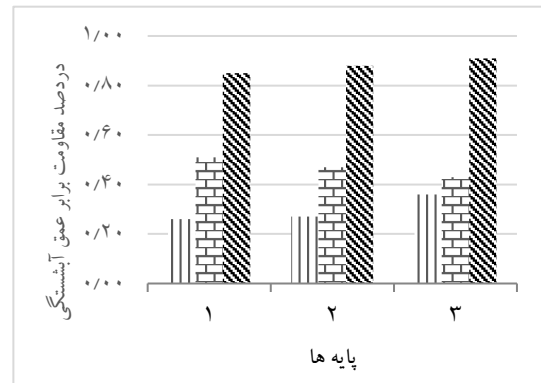
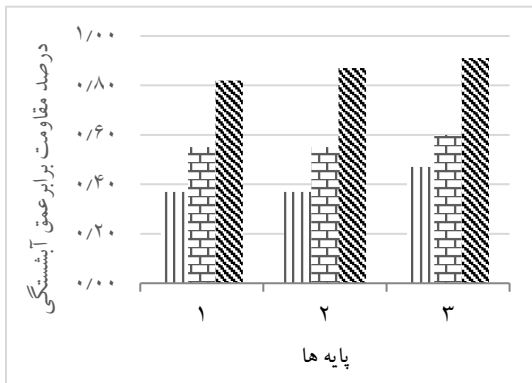
شکل ۱۳- بررسی پایه در $Fr=0.22$ با $dg/d=0.3$ و $NV=2$



شکل ۱۲- بررسی پایه در $Fr=0.20$ با $dg/d=0.2$ و $NV=2$

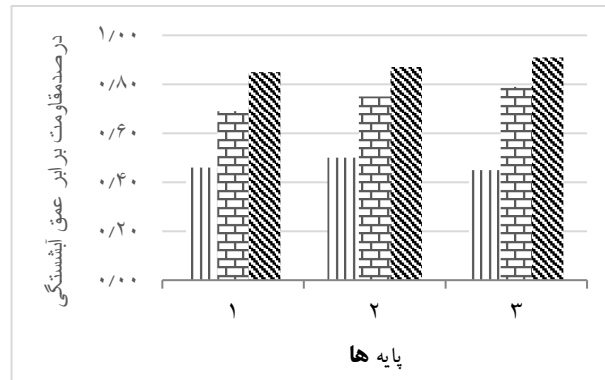


شکل ۱۴- بررسی پایه‌ها در $Fr=0.25$ با $dg/d=0.4$ و $NV=2$



شکل ۱۵- بررسی درصد مقاومت در برابر آبشستگی پایه ها در $Fr=0.22$ با $dg/d=0.3$ و $NV=2$

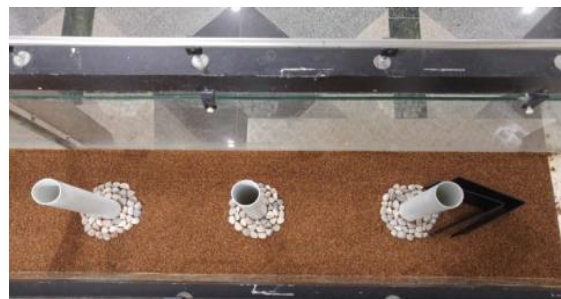
شکل ۱۶- بررسی درصد مقاومت در برابر آبشستگی پایه ها در $Fr=0.20$ با $dg/d=0.2$ و $NV=2$



شکل ۱۷- بررسی درصد مقاومت در برابر آبشستگی پایه ها در $Fr=0.25$ با $dg/d=0.4$ و $NV=2$



شکل ۱۸- تصویر گروه پایه ها با حضور سنگ چین و نصب در صفحه مستغرق قبل از آبشستگی



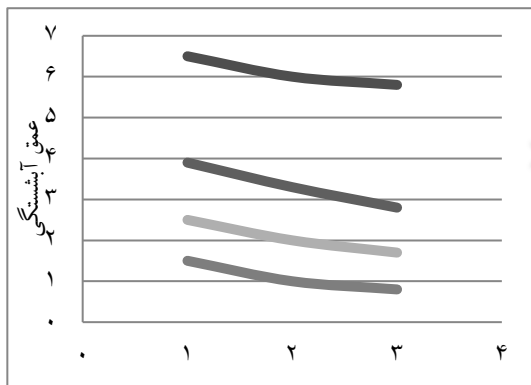
شکل ۱۹- تصویر گروه پایه ها با حضور سنگ چین و نصب دو صفحه مستغرق بعد از آبشستگی

بررسی تأثیر توأم نسبت متغیر قطر سنگ چین به قطر پایه (dg/d) متفاوت و عدد فرود مختلف به ازای ۳ صفحه مستغرق (NV=۳)

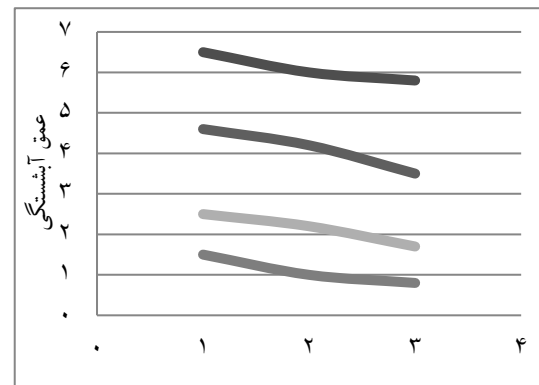
قطر سنگچین نیز عامل موثری در آبشستگی محسوب می شود. در این آزمایش افزایش قطر سنگچین به ازای عدد فرود ثابت، باعث کاهش عمق آبشستگی پایه شد. سنگ چین ها با ایجاد مقاومت در بستر اطراف پایه ها یک حلقه محافظ در برابر ایجاد حفره آبشستگی و جریان های پایین رونده ایجاد میکرد و نیز باعث کاهش نیروی برشی ناشی از جریان آب پیرامون پایه ها می گردید، که این میزان آبشستگی با نمونه شاهد که بحرانی ترین حالت را داشت مقایسه و مورد تجربه تحلیل و بررسی قرار گرفت که کاهش قابل ملاحظه ای را نشان داد.

با توجه به نمودارهای شکل (۲۰) ، (۲۱) و (۲۲) مشاهده می شود که به ازای نسبت متغیر (dg/d)

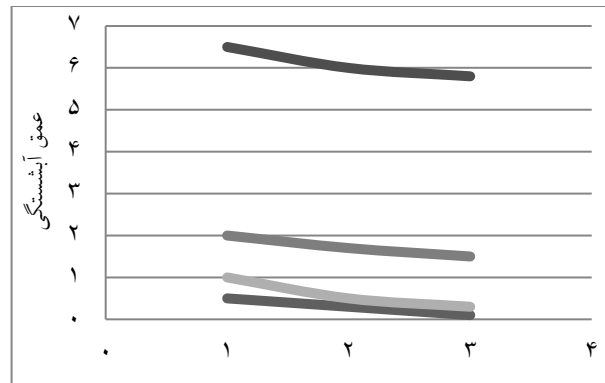
مختلف و اعداد فرود متفاوت (۰/۲۰، ۰/۲۲، ۰/۲۵) و تعداد صفحات یکسان (N=3) میزان نسبت عمق آبشستگی به قطر پایه (ds/Dp) برای پایه اول (۴/۶، ۳/۹، ۲) و برای پایه دوم (۴/۲، ۳/۳، ۱/۷) و برای پایه سوم (۳/۵، ۲/۸، ۱/۵) بدست آمده است که نشان می دهد میزان نسبت عمق آبشستگی در پایه سوم نسبت به پایه اول و دوم کاهش پیدا کرده است. همچنین نمودار شکل های (۲۳)، (۲۴) و (۲۵) ، درصد میزان مقاومت در برابر عمق آبشستگی را به ترتیب برای پایه اول برابر ۹۲ درصد ، برای پایه دوم برابر ۹۵ درصد و برای پایه سوم برابر ۹۸ درصد نشان می دهد. این امر نشان می دهد پایه سوم بیشترین درصد مقاومت در مقابل آبشستگی را دارد. شکل های (۲۶) و (۲۷) گروه پایه را با حضور سنگ چین و نصب دو صفحه مستغرق در قبل و بعد از آبشستگی نشان می دهد.



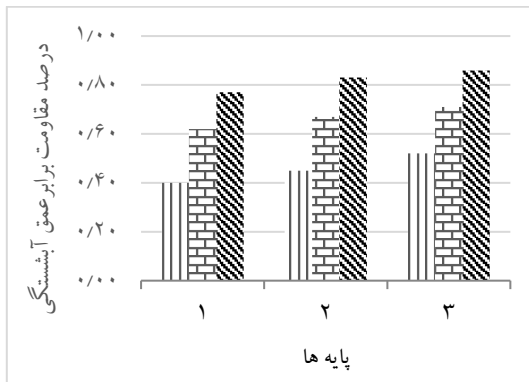
شکل ۲۱. بررسی پایه در Fr=۰/۲۲ با dg/d=۰/۳ و NV=۳



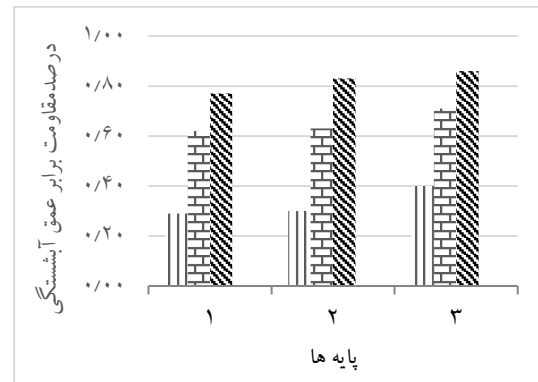
شکل ۲۰. بررسی پایه در Fr=۰/۲۰ با dg/d=۰/۲ و NV=۳



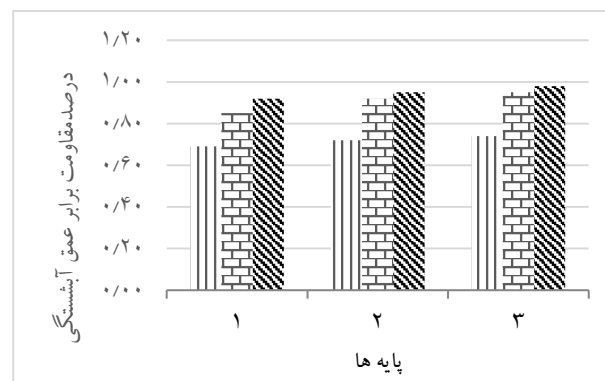
شکل ۲۲. بررسی پایه در $Fr=0/25$ با $dg/d=0/4$ و $NV=3$



شکل ۲۴- بررسی درصد مقاومت در برابر آبشستگی پایه در $Fr=0/22$ با $dg/d=0/3$ و $NV=3$



شکل ۲۳- بررسی درصد مقاومت در برابر آبشستگی پایه در $Fr=0/20$ با $dg/d=0/2$ و $NV=3$



شکل ۲۵- بررسی درصد مقاومت در برابر آبشستگی پایه در عدد فرود $Fr=0.25$ با $dg/d=0.4$ و $NV=3$



شکل ۲۶- تصویر گروه پایه ها با حضور سنگ چین و نصب دو صفحه سه صفحه مستغرق بعد از آبشستگی نتیجه گیری



شکل ۲۷- تصویر گروه پایه ها با حضور سنگ چین و نصب سه صفحه مستغرق قبل از آبشستگی

ها می شود. دو مکانیزم دیگر در الگوی آبشستگی در حالت گروه پایه ها نسبت به تک پایه مؤثر واقع می شوند، ۱- عامل تقویت کننده، که باعث افزایش عمق آبشستگی پایه های جلویی می شود و ۲- عامل حفاظ بودن، به این معنا که وجود پایه بالادست سبب کاهش سرعت جریان و در نهایت کاهش آبشستگی در پایه های پایین دست می شود.

. نتایجی که از این پژوهش به دست آمده است، نشان می دهد که افزایش عدد فرود و تعداد صفحات مستغرق، باعث تغییر جهت تنش برشی، توزیع سرعت جریان آب و همچنین بهبود و کنترل جریان فرسایش اطراف پایه ها می شود. افزایش قطر سنگ چین که نقش تثبیت بستر اطراف گروه پایه ها را ایفاء می کند، باعث کاهش محسوس عمق آبشستگی در گروه پایه

منابع

- ۱- امیرسالاری میمنی، الف.، شفاعی بجستانی، م.، درستی، م. ۱۳۹۶. تعیین موقعیت بهینه شکاف در صفحه مستغرق مثلثی متصل به ساحل در قوس ۹۰ درجه، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال هفتم، شماره اول، صفحه ۹۰-۱۰۰.
- ۲- خسرونژاد، ع.، قدسیان، م.، صالحی نیشابوری، ع.ا.، منصوری، ا.ر. ۱۳۸۶. محاسبه طول و عرض عمق آبشستگی در اطراف گروه شمع با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، نشریه فنی و مهندسی مدرس، پاییز ۸۶، شماره ۲۹، صفحه ۹۱-۹۸.
- ۳- شجاعی، پ.، فرسادی زاده، د.، حسین زاده دلیر، ع.، سلماسی، ف.، قربانی، م.ع. ۱۳۹۱. کاربرد صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی پایه استوانه ای پل ها، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۱، صفحه ۹۲-۱۰۸.
- ۴- فرزاد، ر. ۱۳۹۵. شبیه سازی آبشستگی در گروه پایه های پل در زوایای مختلف و دانه بندی متفاوت رسوب با نرم افزار FLOW-3D، پایان نامه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.
- ۵- مصباحی، م. و شمسایی، ا.، ۱۳۹۲. بررسی و مقایسه معیارهای انتخاب پوشش سنگ چین جهت حفاظت پایه های پل، سومین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری.

۶- نوحانی، ا.، معلائی مزرعی، ع. ۱۳۹۷. ساماندهی و تثبیت سواحل رودخانه با استفاده از مدل ریاضی (مطالعه موردی؛ رودخانه زهره)، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۷، شماره ۱۷، صفحه ۸۳ تا ۸۹.

۷- نوحانی، ابراهیم، شفاعی بجستانی، محمود، مسجدی، علیرضا، ۱۳۹۳. تعیین قطر سنگچین پایدار اطراف پایه پل استوانه‌ای در قوس رودخانه‌ها، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۸، شماره ۶۸، صفحه ۳۳ تا ۴۱.

- 8-Breusers. H.N.C, "Local scour around cylindrical piers", Journal of Hydraulic Research, vol. 15, pp.211- 215, 1977.
- 9- Chiew. Y.M., 1992, "Scour protection at bridge piers", Journal of Hydraulic Engineering, vol. 118, No.9
- 10-Debnath, K.andChaudhuri, S., 2010, laboratory sediment on local scour around cylinder for clay and claysand, JournalHydraulicEngineering, 111(2010), 31-41.
- 11- Ettema. R., 1980, "Scour at bridge pier", Dept of civil Engineering university of Auckland, New zealand, No. 216.
- 12-Oliveto. G, Higer. W, 1991. "Temporal Evolation of clear – water pier and abutment scour", Journal of Hydraulic Engineering, vol.128 No.9, pp.118- 820.
- 13- Raudkivi. A.J, 1986, "Functional trends of scour at bridge" Journal of Hydraulic Engineering, vol. 112, No.1, pp.1-13.