بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تبریز
دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی آب

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی

عنوان

کنترل آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی با استفاده از صفحات مدفون و سنگچین

استاد راهنما

دکتر علی حسین زاده دلیر

استاد مشاور

دکتر اکرم عباسپور

پژوهشگر

سید علی محبوبی

شهریور ۱۳۹۳ شماره پایان‌نامه: ۲۷-۱۳۹۳

نام خانوادگی: محبوبی **نام:** سید علی

عنوان پایان‌نامه : کنترل آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی مستغرق با استفاده از صفحات مدفون و سنگچین

استادان راهنما : دکتر علی حسین‌زاده دلیر **استاد مشاور :** دکتر اکرم عباسپور

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی آب **گرایش:** سازه‌های آبی
دانشگاه: تبریز **دانشکده:** کشاورزی
تاریخ فارغ التحصیلی: ۹۳/۶/۱۸ **تعداد صفحات:** ۱۱۷

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، پرتاب‌کننده جامی مستغرق، صفحات مدفون، سنگچین

چکیده: پرتاب‌کننده جامی یکی از سازه‌های استهلاک کننده انرژی در سرریز سدها می‌باشد. اگر بستر رودخانه در پایین‌دست این سازه آبرفتی باشد آبشستگی در پایین‌دست آن پایداری سازه را تهدید می‌کند. بنابراین کنترل آبشستگی و جلوگیری از شکست سازه بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از روش‌های کنترل آبشستگی می‌توان به روش استفاده از صفحات مدفون و سنگچین اشاره کرد که با مقاوم‌سازی بستر آبشستگی را کاهش می‌دهند. در این تحقیق ابتدا پدیده آبشستگی در پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی مستغرق توسط سه مدل فیزیکی با زوایای ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه در شرایط هیدرولیکی مختلف با ۵ دبی ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ لیتر بر ثانیه بررسی شد. سپس برای کنترل آبشستگی تأثیر سه صفحه مدفون با زوایای ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه که در فاصله ۶H (H: ارتفاع آب روی سرریز) از لبه جام قرار گرفتند، با دبی‌های ۴، ۶ و ۸ لیتر بر ثانیه بررسی شد. تأثیر سنگچین با قطرهای متوسط ۵/۵۳، ۷/۹ و ۱۱ میلی‌متر که در فواصل طولی مختلف نسبت به لبه جام قرار گرفتند بررسی گردید. نتایج نشان داد در پرتاب‌کننده جامی ۳۰ درجه حداکثر عمق آبشستگی بین ۱/۱۵ تا ۱۸/۱۶ درصد کاهش می‌یابد و تأثیر صفحات به گونه‌ای است که با افزایش زاویه صفحات مدفون عمق آبشستگی کاهش بیشتری می‌یابد. درپرتاب‌کننده‌های جامی ۳۰ و ۴۵ درجه حداکثر عمق آبشستگی به ترتیب ۳/۳ تا ۲۵/۶۷ درصد و ۹/۰۸ تا ۳۷/۲۱ درصد کاهش می‌یابد. در پرتاب‌کننده‌های جامی ۳۵ و ۴۰ درجه در

دبی‌های ۴ و ۶ لیتر بر ثانیه، با افزایش زاویه صفحات مدفون حداکثر عمق آبشستگی کاهش بیشتری می‌یابد. اما در دبی ۸ لیتر بر ثانیه صفحات با زاویه کمتر مؤثرتر واقع می‌شوند و با افزایش زاویه صفحات عمق آبشستگی بیشتر می‌شود. در استفاده از سنگچین، دبی لازم برای حرکت غلتشی ذرات سنگچین (Q_w) با افزایش طول محدوده سنگچین افزایش می‌یابد. دبی لازم برای آبشستگی زیرسطحی سنگچین با افزایش طول محدوده سنگچین ابتدا افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به مقدار خاصی ثابت می‌ماند. Q_w و Q_s با اندازه سنگچین رابطه مستقیم دارند و با افزایش اندازه سنگچین افزایش می‌یابند.

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع..... ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- انواع سازه‌های مستهلک کننده انرژی ۳

۱-۳- آبشستگی ۵

۱-۳-۱- انواع آبشستگی ۵

۱-۳-۱-۱- آبشستگی عمومی ۶

۱-۳-۱-۲- آبشستگی ناشی از تنگ شدگی ۶

۱-۳-۱-۳- آبشستگی موضعی ۶

۱-۳-۱-۴- آبشستگی کل ۷

۱-۳-۱-۵- آبشستگی آب زلال ۸

۱-۳-۱-۶- آبشستگی بستر زنده ۸

۱-۳-۱-۷- آبشستگی استاتیکی و دینامیکی ۸

۱-۳-۲- مراحل توسعه آبشستگی ۹

۱-۳-۳- اثرات مخرب آبشستگی در پایین‌دست سرریزهای جامی شکل ۱۰

۱-۳-۴- مکانیزم آبشستگی در پایین‌دست سازه پرتاب‌کننده جامی مستغرق ساده ۱۱

۱-۴- آستانه حرکت ذرات رسوبی ۱۲

۱-۴-۱- روش تنش برشی ۱۲

۱-۴-۲- روش سرعت بحرانی ۱۶

۱-۵- پارامترهای مؤثر در آبشستگی پرتاب‌کننده جامی شکل ۱۷

۱-۵-۱- دانه‌بندی رسوبات ۱۸

۱-۵-۲- اندازه ذرات رسوبی ۱۹
۱-۵-۳- زاویه ایستایی (زاویه اصطکاک داخلی) ۲۰
۱-۵-۴- شکل و چسبندگی ذرات ۲۱
۱-۵-۵- شعاع پرتاب‌کننده جامی ۲۱
۱-۵-۶- زاویه پرتاب (زاویه جام) ۲۲
۱-۵-۷- دبی جریان ۲۳
۱-۵-۸- عمق پایاب ۲۴
۱-۵-۹- ارتفاع ریزش جت ۲۶
۱-۵-۱۰- زمان تعادل آبشستگی ۲۶
۱-۵-۱۱- توسعه زمانی آبشستگی ۲۷
۱-۵-۱۲- هوای ورودی به جت ۲۹
۱-۵-۱۳- عدد فرود ذره ۳۰
۱-۵-۱۴- اختلاف چگالی سیال و رسوب ۳۱
۱-۶- مطالعات صورت گرفته در مورد آبشستگی ناشی از پرتاب‌کننده جامی ۳۱
۱-۶-۱- آبشستگی ناشی از جت‌های پرتابی ۳۴
۱-۷- روش‌های کنترل آبشستگی ۳۸
۱-۷-۱- استفاده از صفحات مستغرق ۳۹
۱-۷-۲- استفاده از طوق ۴۱
۱-۷-۳- استفاده از شکاف ۴۳
۱-۷-۴- استفاده از سنگچین ۴۴

۱-۷-۴-۱- مطالعات صورت گرفته در مورد پایداری سنگچین ۴۷
۱-۷-۵- صفحات مدفون ۵۷
۱-۷-۵-۱- مطالعات صورت گرفته درباره تأثیر صفحات مدفون ۵۸
فصل دوم: مواد و روش‌ها ۶۲
۲-۱- مقدمه ۶۳
۲-۲- مشخصات کانال آزمایشگاهی ۶۳
۲-۳- مدل‌های فیزیکی آزمایش ۶۵
۲-۳-۱- مدل فیزیکی سرریز اوجی ۶۵
۲-۳-۲- مدل فیزیکی پرتاب‌کننده جامی ۶۶
۲-۳-۳- سنگچین ۶۸
۲-۳-۴- صفحات مدفون ۶۹
۲-۴- مواد بستر ۶۹
۲-۵- بستر متحرک و کف کاذب ۷۱
۲-۶- روش‌های اندازه‌گیری ۷۲
۲-۶-۱- اندازه‌گیری عمق جریان و عمق آبشستگی ۷۲
۲-۶-۲- اندازه‌گیری دبی ۷۳
۲-۷- مدت زمان آزمایش ۷۴
۲-۸- مراحل انجام آزمایش ۷۵
۲-۸-۱- آماده‌سازی شرایط آزمایش و کنترل حین آن ۷۵
۲-۸-۲- کنترل‌های حین آزمایش، قطع آزمایش و برداشت نتایج ۷۵

۲-۸-۲-۱- آزمایشات تعیین عمق آبشستگی در پرتاب‌کننده های جامی و کنترل آن با صفحات ۷۵
۲-۸-۲-۲- آزمایشات کنترل آبشستگی به وسیله سنگچین ۷۶
۲-۸- شرح آزمایشات ۷۷
۲-۹- تحلیل ابعادی ۷۷
فصل سوم: نتایج و بحث ۸۰
۳-۱- مقدمه ۸۱
۳-۲- مشاهدات ۸۱
۳-۳- بررسی پروفیل آبشستگی در پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۸۵
۳-۴- بررسی تأثیر صفحات مدفون در کنترل آبشستگی ۸۹
۳-۴-۱- زاویه ۳۰ درجه ۸۹
۳-۴-۲- زاویه ۳۵ درجه ۹۲
۳-۴-۳- زاویه ۴۰ درجه ۹۴
۳-۵- بررسی تأثیر سنگچین در کنترل آبشستگی ۹۷
۳-۵-۱- نتایج آزمایشات به تفکیک انواع سنگچین ۹۷
۳-۵-۲- نتایج آزمایشات به تفکیک Q_w و Q_s در محدوده دبی ۲/۳ الی ۱۱/۸ لیتر بر ثانیه ۱۰۳
۳-۶- روابط رگرسیونی ۱۰۶
۳-۷- نتیجه‌گیری ۱۰۸
۳-۸- پیشنهادات ۱۱۰
منابع مورد استفاده ۱۱۱

شکل ۱-۱- اجزای آبشستگی(می و همکاران ۲۰۰۲) ۸
شکل ۱-۲- مراحل توسعه حفره آبشستگی(بروسرز و رادکیوی، ۱۹۹۱) ۱۰
شکل۱-۳- پرتاب کننده جامی مستغرق (USBR، ۱۹۸۳) ۱۱
شکل ۱-۴- منحنی شیلدز(ون ۱۹۹۰) ۱۳
شکل ۱-۵- منحنی اصلاح شده شیلدز(ون ،۱۹۹۰) ۱۴
شکل ۱-۶- معیار های فرسایش ، ته نشینی برای ذرات یکنواخت (هیستلروم، ۱۹۳۵) ۱۶
شکل ۱-۷- انواع مختلف جریان در جام دندانه دار با عمق های پایاب مختلف (پترکا، ۱۹۸۳) ۲۵
شکل ۱-۸- نمودار تغییرات عمق و طول حفره در برابر درجه استغراق و عدد فرود جام (کاتسوریا، ۱۹۷۵)..... ۳۵
شکل ۱-۹- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی عمق آبشستگی توسط روش شبکه عصبی، روابط تجربی و مدل‌های رگرسیونی عظمت‌اله و همکاران (۲۰۰۵) ۳۷
شکل ۱-۱۰- نمونه‌ای از به کارگیری صفحات مستغرق ۴۰
شکل ۱-۱۱- طرح شماتیک مدل آبشکن و طوق قرار گرفته برآن (کایاترک، ۲۰۰۵) ۴۲
شکل ۱-۱۲- (a) شکاف نزدیک بستر، (b) شکاف نزدیک سطح آب (چیو، ۱۹۹۲) ۴۳
شکل ۱-۱۳- نموگراف ارائه شده جهت تعیین اندازه سنگچین با توجه به سرعت و عمق (مینورد و همکاران، ۱۹۸۹) ۴۷
شکل۱-۱۴- جزئیات سنگچین مورد استفاده توسط چیو (۱۹۹۵) ۴۸
شکل۱-۱۵- جزئیات پارامترهای بکار رفته درآزمایش ها لوچلان و ملویل (۲۰۰۱) ۴۹
شکل۱-۱۶- جزئیات مدل مورد استفاده توسط ملویل و همکاران (۲۰۰۶) ۵۰
شکل۱-۱۷- نمایی شماتیک از نشست کف‌بند تحت تاثیر حرکت فرم بستر، ملویل و همکاران (۲۰۰۶)..... ۵۲
شکل۱-۱۸- جزئیات مدل مورد استفاده توسط ملویل و همکاران (۲۰۰۷)، a) پلان، b) مقطع ۵۳

شکل۱-۲۰- مشخصات مربوط به مدل مورد استفاده توسط(گیسونی و هاگر، ۲۰۰۸) ۵۴
شکل۱-۲۱- نمای شماتیک از نحوه آرایش پایه‌ها توسط سیمارو و همکاران (۲۰۱۱) ۵۵
شکل۱-۲۲- مقایسه مقادیر به دست آمده با استفاده از رابطه سیمارو و همکاران (۲۰۱۱) با روابط موجود..... ۵۶
شکل۱-۲۳ - الگوی پیشنهادی سنگچین در اطراف پایه مستطیلی (مشاهیر و همکاران،۲۰۱۰) ۵۷
شکل ۱-۲۴- نمودار مقادیر $D_{s\,max}$ و $X_{s\,max}$ در فواصل مختلف قرار گیری صفحات ۶۰
شکل ۲-۱- کانال آزمایشگاهی ۶۳
شکل ۲-۲ - تصویر سریز مثلثی برای اندازه‌گیری دبی جریان ۶۴
شکل ۲-۳ - دریچه تنظیم عمق پایاب ۶۴
شکل ۲-۴ - تصویر شماتیک سرریز اوجی و پارامترهای طراحی آن (USBR،۱۹۸۷) ۶۵
شکل ۲-۵ - مشخصات طراحی مدل فیزیکی سرریز اوجی ۶۶
شکل ۲-۶- مشخصات طراحی مدل فیزیکی پرتاب کننده جامی با زوایای۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه ۶۷
شکل ۲-۷- مدل فیزیکی سرریز اوجی و پرتاب کننده‌های جامی متحرک با زوایای ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه..... ۶۷
شکل ۲-۸- الک‌های استاندارد ASTM ۶۸
شکل ۲-۹- سنگچین‌ها به قطر ۵/۵۳، ۷/۹ و ۱۱ میلی‌متر ۶۸
شکل ۲-۱۰- صفحات فلزی با زوایای ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه ۶۹
شکل ۲-۱۱- ذرات بستر رسوبی ۷۰
شکل ۲-۱۲- منحنی دانه بندی مواد بستر ۷۱
شکل ۲-۱۳- بستر متحرک و کف کاذب در کانال آزمایشگاهی ۷۲
شکل ۲-۱۴- مانع چوبی رسوبگیر نصب شده بر روی کف کاذب پایین دست ۷۲
شکل ۲-۱۵- عمق سنج متحرک روی فلوم ۷۳

شکل ۲-۱۶- شیر فلکه تنظیم دبی، سرریز مثلثی اندازه‌گیری دبی و سطح سنج کنار مخزن ۷۴
شکل ۳-۱- مسیر حرکت جریان و گرداب‌ها در پرتاب‌کننده جامی شکل ۸۱
شکل ۳-۲- آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۴۰ درجه در دبی‌های ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ لیتر بر ثانیه ۸۲
شکل ۳-۳- آبشستگی هنگام استفاده از صفحه مدفون قائم در محل حداکثر عمق آبشستگی در زاویه جام ۳۰ درجه در دبی ۸ لیتر بر ثانیه ۸۳
شکل ۳-۴- آبشستگی هنگام استفاده از صفحات مدفون ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه در فاصله 6H از انتهای پرتاب‌کننده جامی ۳۰ درجه ۸۳
شکل ۳-۵- شکل بالا: شکست غلتشی، شکل پایین: شکست زیرسطحی ۸۴
شکل ۳-۶- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی شکل ۳۰ درجه ۸۵
شکل ۳-۷- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی شکل ۳۵ درجه ۸۵
شکل ۳-۸- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی شکل ۴۰ درجه ۸۶
شکل ۳-۹- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده‌های جامی در دبی ۴ لیتر بر ثانیه ۸۷
شکل ۳-۱۰- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده‌های جامی در دبی ۵ لیتر بر ثانیه ۸۷
شکل ۳-۱۱- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده‌های جامی در دبی ۶ لیتر بر ثانیه ۸۷
شکل ۳-۱۲- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده‌های جامی در دبی ۷ لیتر بر ثانیه ۸۸
شکل ۳-۱۳- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده‌های جامی در دبی ۸ لیتر بر ثانیه ۸۸
شکل ۳-۱۴- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۳۰ درجه در دبی ۴ لیتر بر ثانیه با استفاده از صفحات مدفون ۸۹
شکل ۳-۱۵- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۳۰ درجه در دبی ۶ لیتر بر ثانیه با استفاده از صفحات مدفون ۹۰

شکل ۳-۱۶- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۳۰ درجه در دبی ۸ لیتر بر ثانیه با استفاده از صفحات مدفون ۹۰
شکل ۳-۱۷- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۳۵ درجه در دبی ۴ لیتر بر ثانیه با استفاده از صفحات مدفون ۹۲
شکل ۳-۱۸- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۳۵ درجه در دبی ۶ لیتر بر ثانیه با استفاده از صفحات مدفون ۹۲
شکل ۳-۱۹- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۳۵ درجه در دبی ۸ لیتر بر ثانیه با استفاده از صفحات مدفون ۹۳
شکل ۳-۲۰- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۴۰ درجه در دبی ۴ لیتر بر ثانیه با استفاده از صفحات مدفون ۹۴
شکل ۳-۲۱- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۴۰ درجه در دبی ۶ لیتر بر ثانیه با استفاده از صفحات مدفون ۹۵
شکل ۳-۲۲- پروفیل طولی آبشستگی پایین‌دست پرتاب‌کننده جامی ۴۰ درجه در دبی ۸ لیتر بر ثانیه با استفاده از صفحات مدفون ۹۵
شکل ۳-۲۳- تغییرات دبی نسبت به فواصل قرار گیری سنگچین نوع ۱ از لبه جام ۳۰ درجه ۹۷
شکل ۳-۲۴- تغییرات دبی نسبت به فواصل قرار گیری سنگچین نوع ۲ از لبه جام ۳۰ درجه ۹۸
شکل ۳-۲۵- تغییرات دبی نسبت به فواصل قرار گیری سنگچین نوع ۳ از لبه جام ۳۰ درجه ۹۸
شکل ۳-۲۶- تغییرات دبی نسبت به فواصل قرار گیری سنگچین نوع ۱ از لبه جام ۳۵ درجه ۹۹
شکل ۳-۲۷- تغییرات دبی نسبت به فواصل قرار گیری سنگچین نوع ۲ از لبه جام ۳۵ درجه ۹۹
شکل ۳-۲۸- تغییرات دبی نسبت به فواصل قرار گیری سنگچین نوع ۳ از لبه جام ۳۵ درجه ۱۰۰

شکل ۳-۲۹- تغییرات دبی نسبت به فواصل قرار گیری سنگچین نوع ۱ از لبه جام ۴۰ درجه ۱۰۰
شکل ۳-۳۰- تغییرات دبی نسبت به فواصل قرار گیری سنگچین نوع ۲ از لبه جام ۴۰ درجه ۱۰۱
شکل ۳-۳۱- تغییرات دبی نسبت به فواصل قرار گیری سنگچین نوع ۳ از لبه جام ۴۰ درجه ۱۰۱
شکل ۳-۳۲- تغییرات Q_w در سنگچین‌های نوع ۱، ۲ و۳ در پرتاب‌کننده جامی ۳۰ درجه ۱۰۳
شکل ۳-۳۳- تغییرات Q_s در سنگچین‌های نوع ۱، ۲ و۳ در پرتاب‌کننده جامی ۳۰ درجه ۱۰۳
شکل ۳-۳۴- تغییرات Q_w در سنگچین‌های نوع ۱، ۲ و۳ در پرتاب‌کننده جامی ۳۵ درجه ۱۰۴
شکل ۳-۳۵- تغییرات Q_s در سنگچین‌های نوع ۱، ۲ و۳ در پرتاب‌کننده جامی ۳۵ درجه ۱۰۴
شکل ۳-۳۶-تغییرات Q_w در سنگچین‌های نوع ۱، ۲ و۳ در پرتاب‌کننده جامی ۴۰ درجه ۱۰۵
شکل ۳-۳۷- تغییرات Q_s در سنگچین‌های نوع ۱، ۲ و۳ در پرتاب‌کننده جامی ۴۰ درجه ۱۰۵

جدول ۱-۱- ضرایب a و m در رابطه (۱-۱۴) ۱۷

جدول ۱-۲- ضرایب معادلات ارائه شده توسط باطنی(۱۳۸۳) ۵۸

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱-۱- مقدمه

امروزه مسئله تأمین آب برای مصارف گوناگون موضوع مهمی است که موجب توجه بسیار به مقوله ذخیره آب شده است. یکی از این راه‌ها احداث سدها در مسیر رودخانه‌ها است که سیلاب مازاد بر گنجایش مخزن سدها توسط سرریزها تخلیه می‌شود. درسرریزها جریان از حالت زیر بحرانی به فوق بحرانی تبدیل می گردد بنابراین در انتهای سرریز انرژی جنبشی جریان زیاد می شود که می‌تواند موجب فرسایش در پایین‌دست سرریز شود. فرسایش در رودخانه‌ها باعث حمل مواد جامد و ذرات معلق و انتقال آن به پایین‌دست می‌شود که نتیجه آن رسوب‌گذاری در پایین‌دست و تغییر مرفولوژی رودخانه است. بنابراین یک سرریز برای کاهش انرژی اضافی جریان خروجی به سازه مستهلک کننده انرژی در قسمت انتهایی نیاز دارد تا میزان فرسایش و آبشستگی در پایین‌دست به حداقل برسد. اهمیت بررسی پدیده آبشستگی زمانی مشخص می‌شود که عمق آبشستگی قابل ملاحظه باشد، به پی سرریز برسد و پایداری سرریز را در معرض خطر قرار دهد. عدم کنترل آبشستگی باعث پیشرفت حفره آبشستگی به سمت سازه می‌شود که به موجب آن پایداری سد، سرریز و سازه های مجاور تهدید می‌شود و ایجاد ناپایداری درشیب بستر و دیواره‌های رودخانه در پایین‌دست می‌کند، تجمع مواد فرسایش یافته پس از حفره آبشستگی و تغییر رقوم پایاب نیز بر عملکرد خروجی سدها تأثیر می‌گذارد.

مطالب ذکر شده اهمیت پیش بینی مقدار آبشستگی و سرعت توسعه آن را نشان می‌دهد. عوامل تأثیر گذار بر آبشستگی، موقعیت و هندسه سازه، شرایط هیدرولیکی جریان در محدوده سازه و مشخصات مصالح بستر در نزدیکی سازه و بالادست آن می‌باشد. با پیش‌بینی ابعاد حفره آبشستگی می‌توان اقداماتی نظیر احداث حوضچه کاهش انرژی، سنگ‌چین، صفحات مدفون را برای کاهش آبشستگی انجام داد.

یکی از سازه‌های مستهلک کننده انرژی پرتاب کننده جامی است که انرژی اضافی جریان در پایین‌دست آن موجب آبشستگی می‌شود. عوامل هیدرولیکی و همچنین زاویه لبه جام در میزان آبشستگی بسیار تأثیرگذارند. هدف این

تحقیق بررسی تأثیر زاویه جام ودبی جریان بر آبشستگی در پایین‌دست پرتاب کننده جامی مستغرق و کنترل آبشستگی آن با استفاده از سنگ‌چین با قطرهای مختلف و صفحات مدفون با زوایای متفاوت می‌باشد.

۱-۲- انواع سازه های مستهلک کننده انرژی

سازه های مستهلک کننده انرژی در انتهای تخلیه کننده ها و سرریزها و به طور کلی سازه هایی که دارای جریان با انرژی جنبشی بالا هستند ساخته می شوند و به عنوان سازه مکمل از تخریب بستر پایین دست و سازه اصلی توسط جریان با سرعت زیاد محافظت می‌کنند (USBR, 1980). سه نوع از این سازه‌ها که در سدها کاربرد فراوانی دارند عبارتند از:

- ✓ حوضچه آرامش با پرش هیدرولیکی
- ✓ پرتاب کننده جامی آزاد (فلیپ یا پرش اسکی)
- ✓ پرتاب کننده جامی مستغرق غلتکی

حوضچه آرامش اغلب در سرریزها و تخلیه کننده ها استفاده می‌شود. این حوضچه ها با کف افقی یا شیب دار ساخته می‌شود و می‌توانند دارای بلوک، بافل و آستانه باشند. برای ایجاد یک پرش پایدار در حوضچه آرامش منحنی دبی- عمق پایاب برای تمام دبی های ممکن، تقریباً می‌بایست منطبق بر منحنی دبی- عمق ثانویه پرش باشد تا بتواند تا ۷۰ درصد انرژی جریان ورودی به حوضچه را تلف کند. احداث حوضچه آرامش در بار آبی بالاتر از ۱۰۰-۱۲۰ متر به دلیل مشکلات ناشی از تلاطم زیاد توصیه نمی‌شود (کاتسوریا، ۲۰۰۵).

در پرتاب‌کننده جامی آزاد (فلیپ یا پرش اسکی) منحنی دبی- عمق پایاب برای تمام دبی های ممکن، پایین‌تر ازمنحنی دبی- عمق ثانویه پرش می‌باشد. با این تفاوت که پرتاب کننده جامی پرش اسکی به مقدار قابل توجهی بالاتر از بستر رودخانه قرار می‌گیرد اما پرتاب کننده جامی فلیپ نزدیک بستر و یا روی آن قرار می‌گیرد اما لبه جام در هر دو حالت و در تمام شرایط جریان بالاتر از سطح پایاب قرار می‌گیرد. در بسترهای سنگی مقاوم و

یکپارچه نیازی به حوضچه استغراق نیست در حالی که در بسترهای آبرفتی سست باید حوضچه استغراق لحاظ شود (امانیان، ۱۹۹۳). در پرتاب کننده جامی فلیپ، استهلاک انرژی عمدتاً از طریق برخورد و پخشیدگی درون حوضچه صورت می‌گیرد اما در پرتاب کننده جامی پرش اسکی علاوه بر اینکه جت در معرض مقاومت و ورود هوای بیشتری قرار دارد به فاصله دورتری نیز پرتاب می‌شود، بنابراین در این حالت سازه اصلی در معرض خطر کمتری توسط آبشستگی جت می‌باشد (کاتسوریا، ۲۰۰۵). پرتاب کننده جامی آزاد به دو صورت ساده و شیاردار ساخته می‌شود که در جام های شیاردار به دلیل وجود دندانه ها و شیارها، سطح مقطع جت افزایش یافته و موجب می‌شود جت در سطح بزرگتری با بستر برخورد کند و تنش کمتری به سطح پایاب وارد کند همچنین موجب هوادهی بیشتر می‌شود.

در پرتاب‌کننده جامی مستغرق یا غلتکی منحنی دبی- عمق پایاب برای تمام دبی های ممکن، بالاتر ازمنحنی دبی- عمق ثانویه پرش می‌باشد. در این پرتاب کننده ها جت آب به صورت مستغرق وارد پایاب می‌شود. کاهش طول پرش به منظور کاهش طول حوضچه و به تبع آن کاهش هزینه های اجرایی منجر به طراحی حوضچه جامی شکل با پرش هیدرولیکی کنترل شده گردید. هیدرولیک پرتاب کننده جامی مستغرق بر اساس تحمیل پرش به جریان و شکل گیری دو غلتک است که تلاطم و اصطکاک داخلی ناشی از در هم آمیختن جریان ها به شکل غلتک موجب استهلاک انرژی می‌شود. این پرتاب کننده از نظر شرایط هیدرولیکی استهلاک انرژی بهتر از نوع آزاد عمل می نماید. پرتاب کننده های جامی مستغرق نیز به دو نوع ساده و شیاردار تقسیم می‌شوند.

در پرتاب کننده جامی مستغرق ساده جام غلتکی به صورت پرش هیدرولیکی مستغرق بر روی کف منحنی عمل می‌کند که وابستگی زیادی به عدد فرود جریان ورودی و عمق پایاب دارد که می‌توان نتیجه گرفت در صورت عملکرد متقارن سرریز نتایج رضایت بخش می‌شود (کاتسوریا، ۲۰۰۵).

در پرتاب کننده جامی مستغرق شیاردار طول توسعه جت کوتاه شده و انرژی سریعتر مستهلک می‌شود. در این روش در صورت ورود مواد ریز به داخل جام در اثر عملکرد نامتقارن سرریز این مواد سریعاً به بیرون شسته می‌شوند

اما به دلیل بالا بودن پتانسیل خوردگی این دندانه ها، احتمال خوردگی در حین شسته شدن مواد به بیرون از جام نیز زیاد است. همچنین احتمال کاویتاسیون دندانه ها و کف بند در سرعت های بیش از ۲۰ متر بر ثانیه وجود دارد. این نوع جام به تغییرات ارتفاع پایاب بسیار حساس است. در صورت کاهش تراز، آبشستگی در فاصله دورتری از جام تشکیل شده و ایجاد امواج بسیار شدیدی می‌کند که موجب می‌شود سطح آب رودخانه دیرتر به تعادل برسد و در صورت افزایش تراز، جت خروجی به طرف کف رودخانه می‌رود و باعث افزایش شدید آبشستگی در فاصله نزدیک به جام می‌شود (پترکا، ۱۹۸۳).

۱-۳- آبشستگی

آبشستگی در حقیقت جابجایی ذرات توسط جریان از محل استقرار اولیه آنها به مکان دیگری است. حرکت یک ذره هنگامی آغاز می‌شود که نیروهای اعمال شده توسط جریان یعنی نیروی کشسانی و بالابرنده که باعث جدا شدن ذره از بستر می‌شوند، بر نیروی مقاوم ذره غالب آید. عامل اصلی در وقوع این پدیده افزایش سرعت است که می‌تواند ناشی از کاهش سطح مقطع جریان، افزایش شیب، افزایش دبی عبوری و یا کاهش زبری بستر باشد. آبشستگی به طور عادی در کف و دیواره رودخانه ها اتفاق می‌افتد ولی حالت بحرانی آن در پایین دست سازه های هیدرولیکی رخ می‌دهد. آبشستگی باعث شستن بستر و تخریب سازه هایی که در بستر قرار دارند می‌شود که می تواند خسارات جبران ناپذیری را پدید آورد. عمق به وجود آمده از فرسایش بستر نسبت به بستر اولیه (بستر رودخانه قبل از شروع آبشستگی) را عمق آبشستگی می‌گویند (شفاعی بجستان، ۱۳۷۸).

۱-۳-۱- انواع آبشستگی

آبشستگی از جنبه‌های مختلف به صورت زیر تقسیم بندی می شود (رادکیوی و اتما ۱۹۸۳):

- آبشستگی از نظر علت به وجود آمدن آن، که شامل آبشستگی عمومی، آبشستگی ناشی از تنگ شدگی مقطع و آبشستگی موضعی است. از مجموع این سه آبشستگی، عمق آبشستگی کل به دست می‌آید.

- آبشستگی از نظر وضعیت حمل رسوب، که شامل آبشستگی در حالت آب زلال و آبشستگی در حالت آب حاوی رسوب (آبشستگی بستر زنده) است.

- آبشستگی از نظر وضعیت ذرات رسوب در حفره آبشستگی شامل آبشستگی استاتیکی و دینامیکی می شود.

۱-۳-۱-۱- آبشستگی عمومی

در این نوع آبشستگی، مواد رسوبی موجود در بستر رودخانه شسته شده و در قسمت عمده‌ای از مسیر رودخانه حالت گود افتادگی پدیدار می‌گردد. این حالت را در رودخانه می‌توان به عنوان فرسایش عمومی یا آبشستگی عمومی قلمداد نمود. افت بستر در چنین حالتی موقتی بوده و در مرحله فروکش سیلاب در اثر رسوبگذاری، بستر به تدریج تراز اولیه خود را باز می‌یابد. رسوبگذاری فراگیر در بستر رودخانه بعد از فروکش سیلاب در دوره جریان-های کم ادامه می‌یابد، از این فرایند به عنوان رسوب‌گذاری عمومی می‌توان نام برد. آبشستگی عمومی صرف نظر از وجود سازه اتفاق می‌افتد. این نوع آبشستگی ممکن است با توجه به توسعه زمانی آبشستگی، در بازه‌های زمانی طولانی مدت یا کوتاه مدت ایجاد گردد (رادکیوی،۱۹۹۰).

۱-۳-۱-۲- آبشستگی ناشی از تنگ شدگی

وجود تنگ شدگی مقطع در مسیر جریان باعث کاهش مقطع جریان و افزایش سرعت جریان و تنش برشی بستر می‌شود که در نتیجه قدرت فرسایشی جریان در این محل زیاد می‌شود. آبشستگی ایجاد شده در این حالت را آبشستگی ناشی از تنگ شدگی می‌گویند. تأثیر این نوع آبشستگی، پایین افتادن سطح بستر آبراهه می‌باشد (رادکیوی،۱۹۹۰). آبشستگی ناشی از تنگ شدگی اغلب نتیجه محدود کردن عرض رودخانه می‌باشد.

۱-۳-۱-۳- آبشستگی موضعی

این نوع آبشستگی تابعی از نوع سازه و تأثیرآن بر الگوی جریان است که در اثر شدت جریان و گرداب‌های ایجاد شده در اطراف سازه و یا پایین‌دست آن ایجاد می‌شود. آبشستگی موضعی بیشتر در اطراف پایه‌های پل، نوک