



پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی عمران - سازه های هیدرولیکی

بررسی عددی خصوصیات لایه حفاظتی سنگ چین پایین دست حوضچه‌های آرامش

به وسیله‌ی
آزاده کولانی

استاد راهنما
دکتر ناصر طالب بیدختی

بهمن ۱۳۹۰

صلى الله عليه وسلم

به نام خدا

اظہارنامہ

اینجانب آزاده کولانی (۸۸۸۵۷۸) دانشجوی رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی دانشکده‌ی مهندسی اظہار می‌کنم که این پایان‌نامہ حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظہار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان‌نامہ‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامہ مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی : آزاده کولانی

تاریخ و امضا: ۱۳۹۱/۲/۱۶

به نام خدا

بررسی عددی خصوصیات لایه حفاظتی سنگ چین پایین دست
حوضچه‌های آرامش

به کوشش
آزاده کولانی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه بعنوان بخشی
از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی عمران (سازه‌های هیدرولیکی)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر ناصر طالب بیدختی، استاد بخش مهندسی راه، ساختمان و محیط زیست (رئیس کمیته)

دکتر عبدالحسین بغلانی، استادیار بخش مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شیراز

دکتر علی اکبر اختری، استادیار بخش مهندسی عمران دانشگاه رازی

دکتر نادر هاتف، استاد بخش مهندسی راه، ساختمان و محیط زیست

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به تبلور عینی اخلاص، پدر عزیزم

تقدیم به تبسم سبز خدا، مادر عزیزم

تقدیم به شایسته شریف، برادر عزیزم

تقدیم به شمیم بهشت، خواهران عزیزم

و سپاس از تمامی کسانی که اگر آنان نبودند راه به جایی نمی بردم.

سپاسگزاری

با اتمام کار پایان نامه بر خود لازم می‌دانم از استاد راهنمای محترم آقای دکتر ناصر طالب بیدختی که صمیمانه و با دقت نظر در این کار مرا یاری دادند، تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از اساتید گرانقدر دکتر عبدالحسین بغلانی، دکتر علی اکبر اختری و دکتر نادر هاتف که زحمت مشاوره این رساله را بر عهده گرفتند سپاسگزارم.

چکیده

بررسی عددی خصوصیات لایه حفاظتی سنگ چین پایین دست حوضچه‌های آرامش

به کوشش
آزاده کولانی

باتوجه به اینکه در انتهای سازه‌هایی چون سرریز سدها، تنداب‌ها، آبشارها و دریچه‌ها بدلیل سرعت زیاد جریان نیاز به سازه‌ای برای استهلاک انرژی جریان و کاهش سرعت آن به منظور جلوگیری از فرسایش و حفاظت از تاسیسات پایین دست می‌باشد، باید از مستهلک کننده‌های انرژی استفاده کرد که یکی از این مستهلک کننده‌های انرژی حوضچه آرامش از نوع پرش هیدرولیکی می‌باشد که در آن با شکل‌گیری پرش هیدرولیکی و عبور جریان از رژیم فوق بحرانی به رژیم زیر بحرانی انرژی مستهلک می‌شود. ولی حتی با به کار بردن این سازه‌ها استهلاک کامل انرژی در حوضچه آرامش اتفاق نمی‌افتد و بایستی مقداری از انرژی دورتر از خروجی حوضچه مستهلک شود. بنابراین ممکن است آبشستگی در پایین دست حوضچه آرامش اتفاق بیفتد. با توجه به اهمیت سازه حوضچه لازم است مطالعات فرسایش پایین دست آن انجام شود. بدین منظور در این تحقیق از طریق دینامیک سیالات محاسباتی در قالب روش تفاضل محدود بکار رفته در نرم افزار Flow-3D پرش هیدرولیکی داخل حوضچه آرامش با حل معادلات پیوستگی و ناویراستوکس شبیه‌سازی شده است، همچنین برای در نظر گرفتن آشفتگی‌ها از مدل آشفتگی RNG استفاده شده است. سپس آبشستگی پایین دست حوضچه آرامش شبیه‌سازی شده است و تاثیر پارامترهای مختلف چون زاویه اصطکاک داخلی رسوبات و نحوه اجرای لایه حفاظتی بر میزان بیشینه عمق آبشستگی بررسی شده است. مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاه بیانگر دقت خوب مدل عددی Flow-3D می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: حوضچه آرامش، پرش هیدرولیکی، آبشستگی، سنگ چین، شبیه‌سازی عددی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۲
فصل دوم: پیشینه تحقیقات	
۱-۲- انواع پرش هیدرولیکی	۹
۲-۲- انواع مستهلک کننده‌های انرژی	۱۱
۳-۲- تنظیم پرش هیدرولیکی بوسیله‌ی آبشار	۱۱
۴-۲- حوضچه‌های آرامش	۱۲
۵-۲- حوضچه آرامش استاندارد USBR	۱۲
۶-۲- حوضچه آرامش SAF	۱۲
۷-۲- سرریزهای شیب شکن	۱۲
۸-۲-۱- فرسایش	۱۳
۸-۲-۲- مکانیسم فرسایش موضعی	۱۳
۸-۲-۳- انواع پوشش‌ها	۱۴
۸-۲-۴- پدیده فرسایش	۱۴
۸-۲-۵- آبشستگی	۱۵
۹-۲- فرسایش و آبشستگی در پایین‌دست حوضچه‌های آرامش	۱۷
۱۰-۲-۱- تعریف Riprap	۱۷
۱۰-۲-۲- مزایا و معایب استفاده از	۱۷
۱۰-۲-۳- موارد استفاده از	۱۷
۱۱-۲- خواص فیزیکی مصالح سنگی مورد استفاده در لایه‌ی حفاظتی	۱۸
۱۱-۲-۱- دانسیته سنگ‌ها	۱۸
۱۱-۲-۲- شکل و پوکی سنگ‌ها	۱۹
۱۱-۲-۳- دوام سنگ‌ها	۱۹

۱۹	۱۱-۲-۴- دانه‌بندی سنگ‌ها
۱۹	۱۱-۲-۵- ضخامت لایه‌ی حفاظتی
۲۰	۱۱-۲-۶- زبری
۲۲	۱۲-۲- اندازه مورد نیاز برای سنگ‌های Riprap
۲۲	۱۲-۲-۱- نیروهای وارده بر ذرات Riprap
۲۲	۱۲-۲-۲- طراحی لایه حفاظتی Riprap در اطراف سازه‌های هیدرولیکی
۲۳	۱۳-۲- عوامل مؤثر در پایداری لایه حفاظتی
۲۳	۱۴-۲- دلایل استفاده از لایه‌ی حفاظتی Riprap در اطراف سازه‌های هیدرولیکی
۲۴	۱۵-۲- دلایل استفاده از لایه حفاظتی Riprap در پائین‌دست حوضچه‌های آرامش
۲۵	۱۶-۲- آغاز به حرکت رسوبات
۲۷	۱۷-۲- طراحی لایه حفاظتی Riprap پائین‌دست حوضچه‌های آرامش
۳۲	۱۸-۲- اهمیت فیلتر در طراحی لایه حفاظتی Riprap
	۱۹-۲- کنترل آبشستگی ناشی از جت افقی مستغرق با استفاده
۳۳	از لایه‌ی حفاظتی سنگچین

فصل سوم: مدل عددی و معادلات حاکم

۳۶	۳-۱- مقدمه
۳۶	۳-۲- دینامیک سیالات محاسباتی
۳۷	۳-۳- معرفی نرم افزار FLOW-3D
۳۸	۳-۴- معادلات حاکم بر جریان
۳۸	۳-۴-۱- سیستم‌های مختصات
۳۹	۳-۴-۲- معادله پیوستگی
۴۰	۳-۴-۳- معادله مومنتم
۴۱	۳-۴-۴- تنش برشی دیوار
۴۱	۳-۵- مدل‌های آشفتگی
۴۳	۳-۵-۱- فرضیه بوزینسک
۴۳	۳-۵-۱-۱- مدل‌های صفر معادله‌ای
۴۴	۳-۵-۱-۲- مدل‌های یک معادله‌ای
۴۴	۳-۵-۱-۳- مدل‌های دو معادله‌ای
۴۴	۳-۵-۱-۴- مدل‌های دارای معادله تنش

۴۵	مدل‌های شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES).....	۴۵
۴۵	مدل‌های آشفتگی مورد استفاده در نرم افزار FLOW-3D.....	۴۵
۴۶	مدل طول اختلاط پرناتل.....	۴۶
۴۶	مدل آشفتگی $K - \epsilon$ و RNG.....	۴۶
۴۸	معادلات حاکم بر آبشستگی رسوبات.....	۴۸
۵۲	روش حجم محدود (FVM).....	۵۲
۵۳	روش VOF مورد استفاده در نرم افزار FLOW-3D.....	۵۳

فصل چهارم: ارائه و تجزیه و تحلیل نتایج

۵۶	مقدمه.....	۵۶
۵۷	شبیه‌سازی دو بعدی پرش هیدرولیکی پایین دست دریچه.....	۵۷
۶۳	مدل‌سازی پرش داخل کانال و مقایسه عمق‌های اولیه و ثانویه.....	۶۳
۶۳	پرش با روابط موجود.....	۶۳
۶۴	شبیه‌سازی سه بعدی پرش هیدرولیکی پایین دست دریچه.....	۶۴
۶۷	شبیه‌سازی پرش هیدرولیکی داخل حوضچه آرامش USBR Type II.....	۶۷
۶۷	مقدمه.....	۶۷
۶۷	معرفی سد نمرود و حوضچه آرامش این سد.....	۶۷
۶۷	وسایل و تجهیزات آزمایشگاه.....	۶۷
۶۸	نتایج مدل.....	۶۸
۶۸	شبیه‌سازی سه بعدی پرش هیدرولیکی داخل حوضچه آرامش.....	۶۸
۷۴	بررسی آبشستگی موضعی پایین دست جت افقی مستغرق.....	۷۴
۷۴	مقدمه.....	۷۴
۷۴	وسایل و تجهیزات آزمایشگاه [۵۲].....	۷۴
۷۵	نتایج مدل عددی.....	۷۵
۷۶	بررسی عددی آبشستگی پایین دست حوضچه آرامش.....	۷۶
۷۶	مقدمه.....	۷۶
۷۷	وسایل و تجهیزات آزمایشگاه [۶].....	۷۷
۷۸	شرایط جریان و ویژگی بستر فرسایش پذیر آزمایش‌ها.....	۷۸
۷۸	مدل عددی.....	۷۸
۷۸	مقدمه.....	۷۸

۷۹	۲-۴-۷-۴ مدل دو بعدی آزمایش ۱ (دبی ۰/۰۳ متر مکعب بر ثانیه).....
۸۱	۳-۴-۷-۴ مدل دو بعدی آزمایش ۲ (دبی ۰/۰۵ متر مکعب بر ثانیه).....
۸۲	۴-۴-۷-۴ مدل دو بعدی آزمایش ۳ (دبی ۰/۰۳۲ متر مکعب بر ثانیه).....
۸۴	۵-۴-۷-۴ مدل دو بعدی آزمایش ۴ (دبی ۰/۰۹۱ متر مکعب بر ثانیه).....
۸۵	۵-۷-۴ بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر پایداری لایه حفاظتی سنگچین.....
۸۶	۱-۵-۷-۴ مقدمه.....
۸۶	۲-۵-۷-۴ بررسی تاثیر شرایط جریان بر میزان حداکثر عمق آبشستگی.....
۸۶	۱-۲-۵-۷-۴ مقدمه.....
۸۶	۲-۲-۵-۷-۴ نتایج شبیه سازی عددی برای شرایط مختلف جریان.....
۹۱	۳-۲-۵-۷-۴ نتیجه گیری.....
۹۱	۳-۵-۷-۴ تاثیر زاویه اصطکاک داخلی ذرات بر میزان حداکثر عمق آبشستگی.....
۹۱	۱-۳-۵-۷-۴ مقدمه.....
۹۱	۲-۳-۵-۷-۴ نتایج شبیه سازی عددی برای زاویه اصطکاک داخلی متفاوت.....
۹۴	۳-۳-۵-۷-۴ نتیجه گیری.....
	۴-۵-۷-۴ تاثیر نحوه اجرای لایه حفاظتی سنگچین بر میزان
۹۴	حداکثر عمق آبشستگی.....
۹۴	۱-۴-۵-۷-۴ مقدمه.....
	۲-۴-۵-۷-۴ نتایج شبیه سازی عددی برای ترازهای مختلف اجرای لایه حفاظتی
۹۴	سنگچین.....
۹۷	۳-۴-۵-۷-۴ نتیجه گیری.....
۹۷	۶-۷-۴ آنالیز ابعادی.....

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۹۹	۱-۵ مقدمه.....
۹۹	۲-۵ نتیجه گیری.....
۱۰۱	۳-۵ پیشنهادها.....
۱۰۲	فهرست منابع و مأخذ.....

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲): دانه بندی لایه حفاظتی	۱۹
جدول (۱-۴): ابعاد کانال	۵۷
جدول (۲-۴): شرایط جریان	۵۷
جدول (۳-۴): ابعاد کانال	۶۳
جدول (۴-۴): شرط مرزی مدل عددی	۶۴
جدول (۵-۴): شرط مرزی مدل عددی	۶۹
جدول (۶-۴): میانگین خطا	۷۲
جدول (۷-۴): شرایط جریان	۷۵
جدول (۸-۴): شرایط مرزی مدل عددی	۷۵
جدول (۹-۴): بیشینه عمق چاله آبستگي	۷۶
جدول (۱۰-۴): مشخصات مدل آزمایشگاهی و شرایط جریان	۷۸
جدول (۱۱-۴): مشخصات بستر فرسایش پذیر	۷۸
جدول (۱۲-۴): شرایط مرزی مدل‌های عددی	۷۹
جدول (۱۳-۴): بیشینه عمق چاله آبستگي (متر)	۸۰
جدول (۱۴-۴): بیشینه عمق چاله آبستگي (متر)	۸۲
جدول (۱۵-۴): بیشینه عمق چاله آبستگي (متر)	۸۳
جدول (۱۶-۴): بیشینه عمق چاله آبستگي (متر)	۸۴
جدول (۱۷-۴) میزان خطای مدل عددی FLOW-3D به نسبت مدل آزمایشگاهی	۸۵
جدول (۱۸-۴): نتایج مدل عددی FLOW-3D برای شرایط مختلف جریان	۸۷
جدول (۱۹-۴): مشخصات بستر فرسایش پذیر	۹۱
جدول (۲۰-۴): حداکثر عمق آبستگي به ازای زوایای اصطکاک داخلی مختلف	۹۲
جدول ۴-۲۱- بیشینه عمق آبستگي برای ترازهای مختلف اجرای لایه حفاظتی سنگچین	۹۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱): سد جعفرآباد قبل از فرسایش.....	۳
شکل (۲-۱): سد جعفرآباد بعد از فرسایش.....	۴
شکل (۲-۱): الگوی آب شستگی.....	۱۵
شکل (۲-۲): دیاگرام آغاز به حرکت سنگها، بیان شده از سوی شیلدز.....	۲۶
شکل (۱-۳): مقادیر تابع VOF در نزدیکی سطح آزاد.....	۵۴
شکل (۱-۴): مدل آزمایشگاهی.....	۵۷
شکل (۲-۴): سرعت محاسبه شده برای شبکه با مش بندی ۱ سانتیمتر.....	۶۱
شکل (۳-۴): سرعت محاسبه شده برای شبکه با مش بندی ۲ سانتیمتر.....	۶۱
شکل (۴-۴): سرعت محاسبه شده برای شبکه با مش بندی ۳ سانتیمتر.....	۶۱
شکل ۴-۵: سرعت محاسبه شده برای شبکه با مش بندی ۴ سانتیمتر.....	۶۱
شکل (۶-۴): فشار محاسبه شده برای شبکه با مش بندی ۱ سانتیمتر.....	۶۲
شکل (۷-۴): فشار محاسبه شده برای شبکه با مش بندی ۲ سانتیمتر.....	۶۲
شکل (۸-۴): فشار محاسبه شده برای شبکه با مش بندی ۳ سانتیمتر.....	۶۲
شکل (۹-۴): فشار محاسبه شده برای شبکه با مش بندی ۴ سانتیمتر.....	۶۲
شکل (۱۰-۴): تصویر شماتیک مدل آزمایشگاهی.....	۶۴
شکل (۱۱-۴): تصویر گرافیکی شبکه مش بندی مورد استفاده.....	۶۴
شکل (۱۲-۴): شرایط مرزی مورد استفاده در شبیه سازی.....	۶۵
شکل (۱۳-۴): مقدار محاسبه شده سرعت.....	۶۵
شکل (۱۴-۴): مقدار محاسبه شده فشار.....	۶۶
شکل (۱۵-۴): مدل هیدرولیکی سرریز سد نمرود.....	۶۸
شکل (۱۶-۴): شبکه مش بندی مورد استفاده در نرم افزار.....	۶۹
شکل (۱۷-۴): شرایط مرزی مدل.....	۶۹
شکل (۱۸-۴): عملکرد حوضچه در دبی ۰/۰۶۹ متر مکعب بر ثانیه.....	۷۰

- شکل (۴-۱۹): عملکرد حوضچه در دبی ۰/۱ متر مکعب بر ثانیه ۷۰
- شکل (۴-۲۰): فشار محاسبه شده در دبی ۰/۰۶۹ متر مکعب بر ثانیه ۷۳
- شکل (۴-۲۱): فشار محاسبه شده در دبی ۰/۱ متر مکعب بر ثانیه ۷۳
- شکل (۴-۲۲): سرعت محاسبه شده در دبی ۰/۰۶۹ متر مکعب بر ثانیه ۷۴
- شکل (۴-۲۳): سرعت محاسبه شده در دبی ۰/۱ متر مکعب بر ثانیه ۷۴
- شکل T=60(S) (۴-۲۴): ۷۵
- شکل T=180(S) (۴-۲۵): ۷۶
- شکل (۴-۲۶): تصویر شماتیک آبستتگی ایجاد شده در پاییندست حوضچه آرامش ۷۷
- شکل (۴-۲۷): شبکه مش بندی ۷۹
- شکل (۴-۲۸): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۳ متر مکعب بر ثانیه ۸۱
- شکل (۴-۲۹): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۵ متر مکعب بر ثانیه ۸۲
- شکل (۴-۳۰): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۳۲ متر مکعب بر ثانیه ۸۳
- شکل (۴-۳۱): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۹۱ متر مکعب بر ثانیه ۸۴
- شکل (۴-۳۲): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۳ متر مکعب بر ثانیه و زاویه اصطکاک داخلی ۲۰ ۹۳
- شکل (۴-۳۳): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۵ متر مکعب بر ثانیه و زاویه اصطکاک داخلی ۲۰ ۹۳
- شکل (۴-۳۴): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۳۲ متر مکعب بر ثانیه و زاویه اصطکاک داخلی ۲۰ ۹۳
- شکل (۴-۳۵): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۹۱ متر مکعب بر ثانیه و زاویه اصطکاک داخلی ۲۰ ۹۳
- شکل (۴-۳۶): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۳ متر مکعب بر ثانیه ۹۶
- شکل (۴-۳۷): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۵ متر مکعب بر ثانیه ۹۶
- شکل (۴-۳۸): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۳۲ متر مکعب بر ثانیه ۹۶
- شکل (۴-۳۹): تغییر بستر فرسایش پذیر برای دبی ۰/۰۹۱ متر مکعب بر ثانیه ۹۶

فهرست نمودار

عنوان	صفحه
نمودار(۴-۱): مقایسه پروفیل سطح آب محاسبه شده با استفاده از مدل آزمایشگاهی و عددی برای شبکه با اندازه سلول ۴ سانتی متر	۵۸
نمودار(۴-۲): مقایسه پروفیل سطح آب محاسبه شده با استفاده از مدل آزمایشگاهی و عددی برای شبکه با اندازه سلول ۳ سانتی متر	۵۹
نمودار(۴-۳): مقایسه پروفیل سطح آب محاسبه شده با استفاده از مدل آزمایشگاهی و عددی برای شبکه با اندازه سلول ۲ سانتی متر	۵۹
نمودار(۴-۴): مقایسه پروفیل سطح آب محاسبه شده با استفاده از مدل آزمایشگاهی و عددی برای شبکه با اندازه سلول ۱ سانتی متر	۶۰
نمودار(۴-۵): مقایسه پروفیل سطح آب محاسبه شده با استفاده از مدل آزمایشگاهی و برای شبکه با اندازه سلولهای متفاوت	۶۰
نمودار(۴-۶): مقایسه پروفیل سرعت محاسبه شده با استفاده از مدل آزمایشگاهی و عددی ...	۶۶
نمودار(۴-۷): پروفیل سطح آب برای دبی ۰/۰۶۹ متر مکعب بر ثانیه	۷۱
نمودار(۴-۸): پروفیل سطح آب برای دبی ۰/۱ متر مکعب بر ثانیه	۷۱
نمودار(۴-۹): پروفیل سرعت در انتهای پرش، دبی ۰/۰۶۹ متر مکعب بر ثانیه	۷۲
نمودار(۴-۱۰): پروفیل سرعت در انتهای پرش، دبی ۰/۱ متر مکعب بر ثانیه	۷۳
نمودار(۴-۱۱):مقایسه حداکثر عمق آبشستگی با استفاده از مدل آزمایشگاهی و مدل عددی FLOW-3D	۸۶
نمودار(۴-۱۲): نتایج حداکثر عمق آبشستگی برای مقادیر مختلف دبی جریان	۸۷
نمودار(۴-۱۳): نتایج حداکثر عمق آبشستگی برای مقادیر مختلف سرعت جریان	۸۸
نمودار(۴-۱۴): نتایج حداکثر عمق آبشستگی برای مقادیر مختلف عمق ثانویه پرش هیدرولیکی	۸۹

نمودار(۴-۱۵): نتایج حداکثر عمق آبشستگی برای مقادیر مختلف عدد فرود مربوط به قطر ذرات.....	۹۰
نمودار(۴-۱۶): مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی عددی برای زوایای اصطکاک داخلی متفاوت.....	۹۲
نمودار(۴-۱۷): مقایسه نتایج عددی برای ترازهای مختلف اجرا.....	۹۵

فصل اول

مقدمه

پرش هیدرولیکی پدیده‌ای است که در اثر تغییر رژیم جریان از حالت فوق‌بحرانی به حالت زیربحرانی در سطح آزاد جریان اتفاق می‌افتد [۱] و باعث استهلاک انرژی فوق‌العاده جریان می‌شود، از این‌رو برای کاهش انرژی جنبشی در پایین‌دست سازه‌هایی چون دریچه‌ها، تندآب‌ها، سرریزها و سدهای انحرافی از این پدیده استفاده می‌شود [۲]. در واقع پرش هیدرولیکی یکی از مؤثرترین روش‌های افت انرژی برای آب جریان یافته بر روی بندها و سرریزها می‌باشد [۳].

بنابراین به منظور جلوگیری از خسارت ناشی از انرژی فوق‌العاده آب در سرعت‌های فوق‌بحرانی و نیز به منظور از بین بردن انرژی اضافی سنیتیک موجود در چنین آبی، عموماً لازم است از سازه‌های خاصی بنام مستهلک‌کننده‌های انرژی که در پایین‌دست جریان ساخته می‌شوند استفاده نمود. این‌گونه سازه‌ها علاوه بر از بین بردن انرژی آب وسیله‌ای برای کنترل و مهار پرش هیدرولیکی و به وجود آمدن شرایط جهت وقوع آن در یک موقعیت مکانی خاص نیز به شمار می‌روند. به منظور استهلاک انرژی جریان در طول تبدیل رژیم از فوق‌بحرانی به زیربحرانی، از سازه‌هایی نظیر حوضچه آرامش همراه با پرش هیدرولیکی، پرتاب‌کننده جامی، سازه‌های پلکانی و تبدیل استفاده می‌شود [۴].

حوضچه آرامش یا حوضچه پرش هیدرولیکی عبارت است از قسمت کوتاهی از یک کانال کف‌سازی شده که به صورت سازه‌ای خاص در انتهای سرریزها یا هر منبع دیگری که جریان فوق‌بحرانی ایجاد می‌کند، ساخته می‌شود. و هدف از ساختن آن به تشکیل پرش هیدرولیکی در داخل حوضچه خلاصه می‌شود که در این صورت جریان فوق‌بحرانی، قبل از رسیدن به قسمت‌های غیر کف‌سازی شده رودخانه به جریان زیر بحرانی تغییر حالت داده و از انرژی فوق‌العاده آن کاسته و از خرابی‌های احتمالی در اثر سرعت بالای جریان جلوگیری می‌گردد [۴]. حوضچه‌های آرامش که هدف از ساخت آن‌ها استهلاک انرژی سرعت‌های بالای جریان‌های خروجی از کالورت‌ها، شوت‌ها، سرریزها و بندهای انحرافی می‌باشد، دارای قسمت‌هایی چون بلوک‌های شوت، بلوک‌های کف و پایه‌های انتهایی که به طور کامل یا جزئی از حوضچه محافظت می‌کنند، می‌باشند که با توجه به عدد فرود جریان ورودی به حوضچه طراحی می‌شوند. با افزایش عدد فرود بر میزان آشفتگی پایین‌دست حوضچه نیز افزوده می‌شود و ممکن است استهلاک کامل انرژی در حوضچه آرامش اتفاق نیفتد، بنابراین مقداری از انرژی

باید دورتر از خروجی حوضچه مستهلک شود. پس امکان وقوع آبشستگی در پایین دست حوضچه‌های آرامش وجود دارد [۵]. در واقع تراز آب در رودخانه‌ها عموماً توسط سدهای کوتاه و یا بندها کنترل می‌شود. جریان بر روی چنین سازه‌هایی حتی اگر هد کمی داشته باشد پتانسیل زیادی برای آبشستگی دارد. بنابراین از حوضچه‌های آرامش برای ایمن بودن بستر رودخانه استفاده می‌شود [۶].

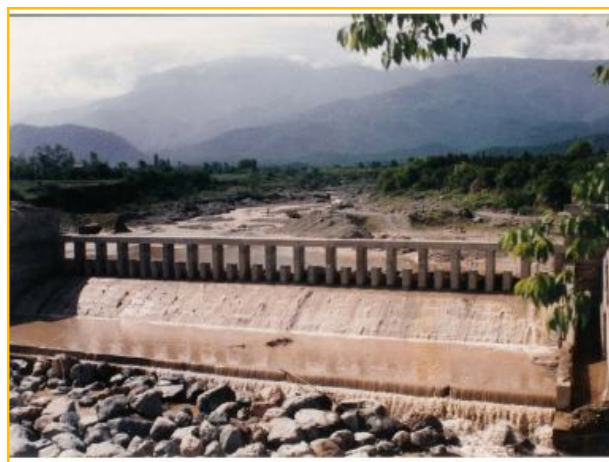
آبشستگی در واقع پدیده‌ای است که در اثر اندرکنش آب و خاک در مجاورت سازه‌های هیدرولیکی بوجود می‌آید [۷].

آبشستگی بلافاصله در پایین دست حوضچه‌های آرامش امری اجتناب ناپذیر می‌باشد، و زمانی که سرعت محلی از سرعت آغاز به حرکت ذرات تجاوز می‌کند اتفاق می‌افتد. این پدیده باعث ایجاد اختلاف تراز بین کف بتنی حوضچه آرامش و بستر رودخانه می‌شود [۸]. اندازه و شدت آن به عدد فرود جریان، شرایط موجود در خروجی حوضچه آرامش و شاید اثرات کامل و بی‌نقص بودن حوضچه بستگی دارد [۵].

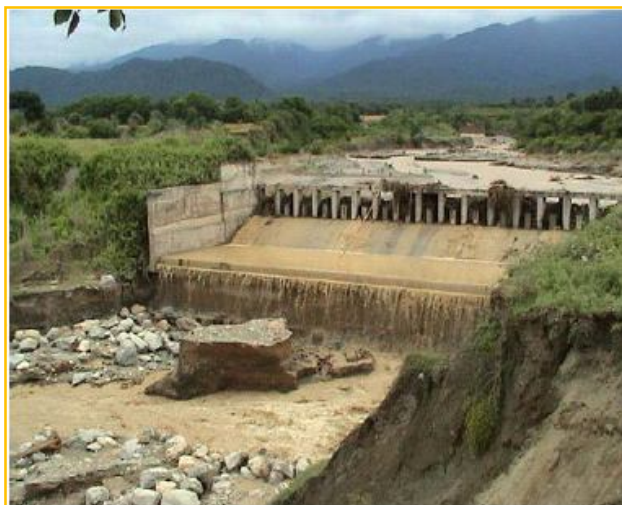
مکانیزم آبشستگی بدین صورت می‌باشد که ابتدا چاله‌های آبشستگی به سرعت توسعه می‌یابند و عمق این چاله‌ها به صورت تدریجی افزایش می‌یابد تا به بیشینه مقدار خودش می‌رسد، سپس به صورت تدریجی کاهش یافته تا مقدارش به صفر برسد [۹].

خرابی که آبشستگی پایین دست حوضچه‌های آرامش ایجاد می‌کند ممکن است باعث خرابی سازه حوضچه و یا خرابی سازه‌ای گردد که حوضچه برای آن طراحی شده است [۵]. در

شکل‌های (۱-۱) و (۲-۱) می‌توان سد انحرافی جعفر آباد در جنوب شرقی ایران را قبل و بعد از فرسایش مشاهده نمود همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود آبشستگی ایجاد شده در پایین دست حوضچه آرامش باعث ایجاد ۲/۵ متر اختلاف تراز بین کف بتنی حوضچه و بستر رودخانه شده است [۱۰].



شکل (۱-۱): سد جعفر آباد قبل از فرسایش [۱۰]



شکل (۲-۱): سد جعفر آباد بعد از فرسایش [۱۰]

بنابراین برای جلوگیری از اثرات نامطلوب ناشی از آبشستگی پایین دست حوضچه‌های آرامش لازم است تمهیداتی در نظر گرفته شود. استفاده از لایه حفاظتی Riprap پایین دست حوضچه‌های آرامش برای جلوگیری از خرابی‌های ناشی از آبشستگی و اطمینان از عملکرد صحیح حوضچه توصیه می‌گردد [۵]. و یکی از پرکاربردترین روش‌های حفاظت بسترهای فرسایش‌پذیر می‌باشد [۱۱].

لایه حفاظتی Riprap (سنگ‌پوش، سنگ‌فرش) به سنگ‌های شکسته یا ساییده شده که به صورت متراکم و نامنظم برای هر سطحی که در برابر عملکرد موج یا جریان قرار دارد تعریف می‌شود [۱۰].

این لایه، معمولاً برای جلوگیری از فرسایش بستر و خرابی سواحل در جریان‌های پیوسته و عملکرد موج، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲]. به عبارتی، فعالیت‌های انسان باعث تغییرات شرایط رودخانه یا به هم‌ریختگی ساختار خاک‌های بستر می‌شود که باعث از بین رفتن پوشش گیاهی و درنهایت، ایجاد فرسایش و آبشستگی می‌شود. استفاده از لایه حفاظتی Riprap، یکی از گزینه‌هایی می‌باشد که باعث کاهش یا جلوگیری از فرسایش یا آبشستگی می‌شود [۱۳]. از این لایه حفاظتی در مکان‌هایی چون کناره‌های رودخانه‌ها، مجاورت سازه‌های هیدرولیکی مثل پایین دست حوضچه‌های آرامش، پایه‌های پل، خروجی لوله‌ها و کالورت‌ها و... پوشش سیل‌شکن‌ها، بندها و... شوت و آبراهه‌های شیبدار، حفاظت بستر در مکان‌هایی چون اطراف فونداسیون پل‌ها، آبراهه‌های کشتی‌رانی و سازه‌های وابسته به رودخانه استفاده می‌شود. این لایه به دلیل انعطاف‌پذیر بودن، قدرت بالا در تعمیر خود، ساخت آسان، فراوانی آزمایش‌ها و راهنماهای استفاده از آن همواره توصیه می‌گردد [۱۰].