



دانشگاه شیراز  
دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی آب (سازه های آبی)

تعیین فشار هیدرودینامیک پرش هیدرولیکی بر بستر حوضچه آرامش

توسط :

علیرضا قلمبر

اساتید راهنما :

دکتر اسدالله مردشتی

دکتر تورج هنر

اساتید مشاور :

دکتر ناصر طالب بیدختی

دکتر مسعود نوشادی

زمستان ۱۳۹۰

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

« اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَّ اٰلِ مُحَمَّدٍ وَّ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ »

به نام خدا

## اظہار نامہ

اینجانب علیرضا قلمبر دانشجوی رشته مهندسی آب گرایش سازه های آبی دانشکده کشاورزی اظہار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظہار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: علیرضا قلمبر

تاریخ و امضا: ۱۳۹۰/۱۱/۰۱

به نام خدا

## تعیین فشار هیدرودینامیک پرش هیدرولیکی بر بستر حوضچه آرامش

به کوشش :

علیرضا قلمبر

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای  
اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته :

مهندسی آب - سازه های آبی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی

..... دکتر اسدالله مردشتی، استادیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز (رئیس کمیته)

..... دکتر تورج هنر، دانشیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز (رئیس کمیته)

..... دکتر ناصر طالب بیدختی، استاد بخش مهندسی راه و ساختمان دانشگاه شیراز

..... دکتر مسعود نوشادی، استادیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز

بهمن ۱۳۹۰

## سپاسگزاری

اکنون که به یاری خداوند متعال پایان نامه تحصیلی خود را به پایان رسانده ام لازم می دانم تا از زحمات بی دریغ و همه جانبه اساتید محترم آقایان دکتر اسدالله مردشتی و دکتر تورج هنر در انجام تمامی مراحل این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را نمایم. همچنین از زحمات اساتید ارجمند آقایان دکتر ناصر طالب بیدختی و دکتر مسعود نوشادی که مشاوره این پایان نامه را به عهده داشته اند تشکر می نمایم.

تقدیم بہ:

پدر و مادر

## چکیده

### تعیین فشار هیدرودینامیک پرش هیدرولیکی بر بستر حوضچه آرامش

به کوشش

علیرضا قلمبر

حوضچه های آرامش از اصلی ترین سازه های مستهلک کننده انرژی ناشی از پرش هیدرولیکی در پایین دست سرریزها، شوتها، شیب شکن ها و دریچه های تنظیم کننده جریان هستند. پرش هیدرولیکی با نوسانات شدید فشار و ایجاد ضربه در زیر خود، که عمدتاً ناشی از ماهیت دوفازی و متلاطم این جریان است، اثرات مخربی بر بستر سازه حوضچه آرامش ایجاد می کند. هدف اصلی پژوهش فعلی طرح ریزی و اجرای مدلی آزمایشگاهی جهت ایجاد پرش هیدرولیکی و اندازه گیری مقادیر نوسانات فشار وارد بر بستر حوضچه آرامش در یک سوم کناری و یک سوم میانی از عرض کف حوضچه بوده که منجر به ارائه روابطی جهت تعیین پروفیل های طولی مقادیر فشارهای حداکثر و حداقل در طول پرش هیدرولیکی بر اساس عوامل تاثیرگذار جهت طراحی بهینه دال کف حوضچه های آرامش شده است. از سال ۱۹۵۰ به بعد با پیشرفت تجهیزات آزمایشگاهی اندازه گیری مقادیر فشار، پدیده نوسانات فشار در پرش هیدرولیکی توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است اما تاکنون روابطی جهت پیشبینی این مقادیر در طول پرش هیدرولیکی ارائه نگردیده است. وسیله اندازه گیری مقادیر نوسانات فشار در اکثر پژوهش های صورت گرفته " ترانسدیوسر " بوده است که با متصل شدن به لوله های باریکی بر اساس مقادیر مختلف هد آب در طول پرش اقدام به قرائت مقادیر فشار در این پدیده می کند. در این پژوهش با طراحی و اجرای مدلی جدید با یک بستر انعطاف پذیر اقدام به اندازه گیری مستقیم مقادیر فشار وارد بر بستر حوضچه آرامش با استفاده از لودسل (سنسور وزن) بدون وجود اثر آب و غلظت هوا که در اندازه گیریهای ترانسدیوسر تاثیرگذار است، شده است. در نهایت با بررسی کمی و کیفی مقادیر نوسانات بر بستر حوضچه آرامش در محدوده مورد بررسی قرار گرفته از عرض کف، نقاط بحرانی که با بیشترین تغییرات فشار و انحرافات روبرو بوده اند تعیین، و روابطی جهت پیشبینی مقادیر حداکثر و حداقل فشار در طول پرش ارائه گردیده است.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	فصل اول: مقدمه .....
۲	۱-۱- کلیات .....
۶	۲-۱- طرح مسئله و ضرورت تحقیق .....
۱۰	۳-۱- هدف پژوهش .....
۱۱	فصل دوم: تئوری و تحقیقات پیشین .....
۱۲	۱-۲- مقدمه .....
۱۳	۲-۲- کانال‌های مستطیلی با شیب کف افقی .....
۱۵	۳-۲- طبقه بندی انواع پرش هیدرولیکی .....
۱۸	۴-۲- طول پرش هیدرولیکی .....
۲۰	۵-۲- پدیده تصادفی نوسانات فشار .....
۲۱	۱-۵-۲- میانگین .....
۲۲	۲-۵-۲- انحراف معیار و واریانس (پرش) .....
۲۳	۳-۵-۲- انحراف معیار بدون بعد $Cp'$ .....
۲۵	۴-۵-۲- پارامترهای حد نهایی فشار .....
۲۸	۶-۲- فشارهای ناشی از پرش هیدرولیکی .....
۳۴	فصل سوم: تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش .....
۳۵	۱-۳- مقدمه .....
۳۵	۲-۳- شرح آزمایشگاه و لوازم آزمایشگاهی .....
۳۶	۱-۲-۳- مدل هیدرولیکی شبیه سازی پرش هیدرولیکی .....
۳۶	۱-۱-۲-۳- سیستم تامین آب .....
۳۹	۲-۱-۲-۳- دبی سنج .....
۴۰	۳-۱-۲-۳- حوضچه آرام کننده .....
۴۱	۴-۱-۲-۳- فلوم آزمایشگاهی .....
۴۴	۵-۱-۲-۳- دریچه‌ها .....



سیستم الکترونیکی اندازه‌گیری فشار	۴۸
۳-۲-۲-۲-۱-۲-۲-۱-۲-۳	۴۸
بورد اصلی	۴۸
۳-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۳	۴۹
لودسل	۴۹
دیتابیس ثبت و ذخیره داده‌ها	۵۵
۳-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۳	۵۵
واسنجی لودسل‌ها	۵۶
۴-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۳	۵۶
عمق سنج	۶۱
۳-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۳	۶۱
روش اندازه‌گیری	۶۲
۳-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۳	۶۲
کمیت‌ها و وسایل اندازه‌گیری	۶۲
۱-۳-۳-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۳	۶۲
دبی جریان	۶۲
۱-۱-۳-۳-۲-۲-۲-۲-۲-۳	۶۲
تعیین پروفیل سطح آب	۶۴
۲-۱-۳-۳-۲-۲-۲-۲-۲-۳	۶۴
اندازه‌گیری مقادیر فشارهای هیدرودینامیکی	۶۵
۳-۱-۳-۳-۲-۲-۲-۲-۲-۳	۶۵
روش کار	۶۵
۴-۳-۳-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۳	۶۵

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ..... ۷۱

۱-۴ نتایج آزمایشات	۷۲
۱-۱-۴ نتایج حاصل از بررسی مقادیر فشار	۸۱
۲-۴ بررسی نوسانات فشار در طول پرش هیدرولیکی	۸۴
۳-۴ تعیین مقادیر حدود نهایی مقادیر فشار	۸۸
۱-۳-۴ بررسی نتایج حاصل از تعیین مقادیر Cp'	۹۴
۲-۳-۴ نتایج حاصله از تعیین مقادیر Cp+, Cp-, Cp و Cp'	۹۸
۲-۳-۴ مقایسه نتایج با مطالعات پیشین	۱۰۰

فصل پنجم: ارائه روابط تعیین فشارهای حداکثر و حداقل ..... ۱۰۲

۱-۵ آنالیز ابعادی	۱۰۳
۱-۱-۵ مقدمه	۱۰۳
۲-۱-۵ پارامترهای موثر در آنالیز ابعادی	۱۰۴
۳-۱-۵ روش $\pi$ باکینگهام	۱۰۴
۲-۵ ارائه رابطه جهت تعیین فشارهای حداکثر و حداقل	۱۱۱
۱-۲-۵ مقادیر فشار در یک سوم میانی	۱۱۱
۱-۱-۲-۵ فشارهای حداکثر	۱۱۱
۲-۱-۲-۵ فشارهای حداقل	۱۱۲

۱۱۳.....	۵-۲-۲- مقادیر فشار در یک سوم کناری .....
۱۱۷.....	۵-۳- مقایسه روابط ارائه شده با نتایج محققین پیشین.....
۱۲۰.....	۵-۴- نتیجه‌گیری.....
۱۲۲.....	۵-۵- توصیه‌ها و پیشنهادات.....
۱۲۳.....	منابع.....

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- مشخصات لودسل استفاده شده در این طرح.....	۵۰
جدول ۳-۲- جدول ضرایب لودسلها.....	۶۰
جدول ۳-۳- مقادیر دبی و عدد فرود در هر بازشدگی در آزمایشات انجام شده.....	۶۴
جدول ۴-۱- مقادیر دبی و عدد فرود در هر بازشدگی در آزمایشات انجام شده.....	۷۳
جدول ۴-۲- نتایج آزمایش بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر و دبی ۲۳/۰ لیتر بر ثانیه.....	۷۴
جدول ۴-۳- نتایج آزمایش بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر و دبی ۲۶/۲ لیتر بر ثانیه.....	۷۴
جدول ۴-۴- نتایج آزمایش بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر و دبی ۳۰/۲ لیتر بر ثانیه.....	۷۵
جدول ۴-۵- نتایج آزمایش بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر و دبی ۳۲/۵ لیتر بر ثانیه.....	۷۵
جدول ۴-۶- نتایج آزمایش بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر و دبی ۳۶/۵ لیتر بر ثانیه.....	۷۶
جدول ۴-۷- نتایج آزمایش بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر و دبی ۳۷/۲ لیتر بر ثانیه.....	۷۶
جدول ۴-۸- نتایج آزمایش بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر و دبی ۳۹/۵ لیتر بر ثانیه.....	۷۷
جدول ۴-۹- نتایج آزمایش بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر و دبی ۴۰/۲ لیتر بر ثانیه.....	۷۷
جدول ۴-۱۰- نتایج آزمایش بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر و دبی ۴۳/۵ لیتر بر ثانیه.....	۷۸
جدول ۴-۱۱- مقادیر حداکثر $Cp+$ ، $Cp-$ و $Cp$ در آزمایشات مختلف.....	۸۹
جدول ۴-۱۲- مقادیر حداکثر $Cp'$ در هر آزمایش.....	۹۴
جدول ۵-۱- واحدها و ابعاد متغیرهای مستقل.....	۱۰۵
جدول ۵-۲- عدد رینولدز در مقطع اولیه پرش در آزمایشات مختلف.....	۱۰۹
جدول ۵-۳- روابط پیشنهادی محاسبه مقادیر فشارهای هیدرودینامیکی حداکثر در یک سوم میانی $(X = \frac{X}{y_1})$ .....	۱۱۲
جدول ۵-۴- روابط پیشنهادی محاسبه مقادیر فشارهای هیدرودینامیکی حداقل در یک سوم میانی $(X = \frac{X}{y_1})$ .....	۱۱۳
جدول ۵-۵- روابط پیشنهادی محاسبه مقادیر فشارهای هیدرودینامیکی حداکثر و حداقل در یک سوم میانی $(X = \frac{X}{y_1})$ .....	۱۱۳
جدول ۵-۶- روابط نهایی محاسبه مقادیر فشار در طول پرش.....	۱۲۱

## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- نمای کلی پرش هیدرولیکی.....	۲
شکل ۲-۱- نوسانات فشار در زیر پرش هیدرولیکی بر روی سرریز و حوضچه آرامش.....	۴
شکل ۳-۱- نمایی از نیروهای ناشی از فشار آب و زیرفشار وارد به دال کف در پرش هیدرولیکی.....	۵
شکل ۴-۱- مقطع سرریز و حوضچه آرامش سد کارنافولی و منطقه فرسایش یافته در زیر شوت.....	۷
شکل ۵-۱- نمایی از سرریز تخریب شده سد کارنافولی.....	۸
شکل ۶-۱- نمایی از بلوک های شوت، بازشدگی های زهکش ها و تخریب دال های شوت در سد کارنافولی.....	۸
شکل ۱-۲- نمای کلی پرش هیدرولیکی.....	۱۲
شکل ۲-۲- نمایی از پرش های هیدرولیکی در اعداد فرود مختلف بر اساس طبقه بندی USBR.....	۱۷
شکل ۳-۲- طول چرخش ( $L_T$ ) و طول پرش ( $L_z$ ) در پدیده پرش هیدرولیکی.....	۱۸
شکل ۴-۲- منحنی تعیین طول پرش هیدرولیکی.....	۱۹
شکل ۵-۲- نوسانات فشار در زیر پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش.....	۲۰
شکل ۶-۲- مقادیر نوسانات فشار در پدیده پرش هیدرولیکی.....	۲۲
شکل ۷-۲- اثر توسعه یافتگی لایه مرزی جریان بر مقدار $Cp'$ .....	۲۴
شکل ۸-۲- مقادیر بدون بعد $Cp+$ و $Cp-$ و $Cp'$ در کانال مستطیلی.....	۲۶
با عدد فرود ۵,۷ در ۱۰ دقیقه آزمایش.....	۲۶
شکل ۹-۲- مقادیر بدون بعد $Cp+$ و $Cp-$ در طول پرش هیدرولیکی در شوت با شیب ۳۰ درجه.....	۲۶
شکل ۱۰-۲- مقادیر حداکثر نوسانات فشار $Cp$ در طول پرش هیدرولیکی در شوت با شیب ۳۰ درجه در حوضچه های آرامش تیپ ۲ و ۳ USBR.....	۲۷
شکل ۱۱-۲- مقادیر مختلف $Cp'$ برای اعداد فرود مختلف در طول پرش.....	۳۰
شکل ۱۲-۲- مقادیر مختلف $Cp'$ برای اعداد فرود مختلف در طول پرش.....	۳۱
شکل ۱۳-۲- منحنی تغییرات ضریب فشار هیدرودینامیک مثبت و منفی در طول جهش در روی شوت و پای شوت.....	۳۲
شکل ۱۴-۲- منحنی تغییرات ضریب فشار هیدرودینامیک در طول جهش نسبت به عدد فرود در روی شوت و پای شوت.....	۳۲
شکل ۱-۳- منبع آب و لوله های انتقال سیستم تامین آب.....	۳۷
شکل ۲-۳- پمپ های مورد استفاده در سیستم تامین آب.....	۳۷

- شکل ۳-۳- تابلوی کنترل پمپ جهت ورود آب به فلوم آزمایشگاه..... ۳۸
- شکل ۳-۴- نمایی از لوله اصلی و فرعی انتقال آب به فلوم..... ۳۸
- شکل ۳-۵- نمایی از دستگاه دبی سنج الکترونیکی..... ۳۹
- شکل ۳-۶- شیرفلکه تنظیم دبی..... ۴۰
- شکل ۳-۷- نمایی از حوضچه آرام کننده قبل از ورود آب به فلوم..... ۴۱
- شکل ۳-۸- نمایی از فلوم شماره ۱ و ۲..... ۴۲
- شکل ۳-۹- نمایی از فلوم شماره ۲..... ۴۳
- شکل ۳-۱۰- نمایی از فلوم شماره ۳ و محل انتقال مجدد آب به مخزن..... ۴۳
- شکل ۳-۱۱- نمایی از دریچه بالادست در ابتدای فلوم شماره ۲..... ۴۴
- شکل ۳-۱۲- نمایی از دریچه پایین دست در انتهای فلوم شماره ۳..... ۴۵
- شکل ۳-۱۳- کف فلوم آزمایشگاهی قبل و بعد از ایجاد حفرات..... ۴۶
- شکل ۳-۱۴- موقعیت قرارگیری حفرات در کف فلوم..... ۴۶
- شکل ۳-۱۵- نوار لاستیکی قرار گرفته بر روی کف فلوم..... ۴۷
- شکل ۳-۱۶- کفپوش لاستیکی قرا داده شده بر روی حفرات تعبیه شده در کف..... ۴۷
- شکل ۳-۲۰- بلوک دیاگرام سیستم..... ۴۹
- شکل ۳-۱۷- نمایی از لودسل استفاده شده در این پژوهش..... ۴۹
- شکل ۳-۱۸- نمایی از مورد و لودسل‌های اندازه‌گیری فشار بر روس چهار پایه..... ۵۱
- شکل ۳-۱۹- نحوه آماده‌سازی لودسل‌ها بر روی چهارپایه‌ها جهت قرارگیری در زیر فلوم..... ۵۲
- شکل ۳-۲۰- مورد الکترونیکی لودسل‌ها..... ۵۳
- شکل ۳-۲۱- نحوه قرارگیری لودسل‌ها در زیر نوار لاستیکی..... ۵۴
- شکل ۳-۲۲- شماره و موقعیت قرارگیری لودسل‌ها در زیر حفرات..... ۵۴
- شکل ۳-۲۳- صفحه نخست نرم افزار کامپیوتری ثبت و ذخیره داده‌های لودسل‌ها..... ۵۵
- شکل ۳-۲۴- نمونه صفحه ثبت داده‌های فشار توسط نرم افزار در زمان‌های مختلف..... ۵۵
- شکل ۳-۲۵- نتایج آزمایشات کالیبراسیون لودسل شماره ۱..... ۵۷
- شکل ۳-۲۶- نتایج آزمایشات کالیبراسیون لودسل شماره ۳..... ۵۷
- شکل ۳-۲۷- نتایج آزمایشات کالیبراسیون لودسل شماره ۵..... ۵۸
- شکل ۳-۲۸- نتایج آزمایشات کالیبراسیون لودسل شماره ۱۱..... ۵۸
- شکل ۳-۲۹- نتایج آزمایشات کالیبراسیون لودسل شماره ۱۳..... ۵۹
- شکل ۳-۳۰- نتایج آزمایشات کالیبراسیون لودسل شماره ۱۵..... ۵۹
- شکل ۳-۳۱- دستگاه عمق سنج الکترونیکی..... ۶۱
- شکل ۳-۳۲- دبی حداکثر ۱۶ لیتر بر ثانیه در بازشدگی دریچه ۱ سانتیمتر..... ۶۳
- شکل ۳-۳۳- تثبیت پرش به کمک دریچه پایین دست..... ۶۶

- شکل ۳-۳۴- ثبت و ذخیره داده‌های فشار توسط نرم افزار کامپیوتری..... ۶۷
- شکل ۳-۳۵- تشکیل پرش هیدرولیکی بعد از دریچه بالادست..... ۶۸
- شکل ۳-۳۶- تشکیل پرش هیدرولیکی بعد از دریچه بالادست..... ۶۹
- شکل ۳-۳۷- ریزش آب بعد از دریچه پایین دست جهت انتقال مجدد به مخزن..... ۷۰
- شکل ۴-۱- مقادیر فشار حداکثر (●)، فشار حداقل (■)، فشار متوسط (▲) و پروفیل طولی جریان (◆) در یک سوم میانی برای جریان با دبی ۳۲/۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر..... ۷۹
- شکل ۴-۲- مقادیر فشار حداکثر (●)، فشار حداقل (■)، فشار متوسط (▲) و پروفیل طولی جریان (◆) در یک سوم کناری برای جریان با دبی ۳۲/۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر..... ۷۹
- شکل ۴-۳- مقادیر فشار حداکثر (●)، فشار حداقل (■)، فشار متوسط (▲) و پروفیل طولی جریان (◆) در یک سوم میانی برای جریان با دبی ۲۶/۲ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر..... ۸۰
- شکل ۴-۴- مقادیر فشار حداکثر (●)، فشار حداقل (■)، فشار متوسط (▲) و پروفیل طولی جریان (◆) در یک سوم کناری برای جریان با دبی ۲۶/۲ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر..... ۸۰
- شکل ۴-۵- محل مناسب تعبیه سازه weephole..... ۸۳
- شکل ۴-۶- نوسانات فشار در لودسل شماره ۹ برای دبی ۲۹/۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۲/۵ سانتیمتر..... ۸۴
- شکل ۴-۷- نوسانات فشار در لودسل شماره ۱۲ برای دبی ۲۹/۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۲/۵ سانتیمتر..... ۸۴
- شکل ۴-۸- نوسانات فشار در لودسل شماره ۱ برای دبی ۳۹/۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۳/۰ سانتیمتر..... ۸۵
- شکل ۴-۹- نوسانات فشار در لودسل شماره ۲ برای دبی ۳۹/۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۳/۰ سانتیمتر..... ۸۵
- شکل ۴-۱۰- نوسانات فشار در لودسل شماره ۵ برای دبی ۴۳/۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۳/۰ سانتیمتر..... ۸۶
- شکل ۴-۱۱- نوسانات فشار در لودسل شماره ۷ برای دبی ۴۳/۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۳/۰ سانتیمتر..... ۸۶
- شکل ۴-۱۲- مقادیر نوسانات فشار در دبی ۹/۷ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۱/۰ سانتیمتر..... ۸۷
- شکل ۴-۱۳- مقادیر حداکثر Cp+ به ازای اعداد فرود مختلف در آزمایشات در بازشدگی های مختلف..... ۹۰
- شکل ۴-۱۴- مقادیر حداکثر Cp- به ازای اعداد فرود مختلف در آزمایشات در بازشدگی های مختلف..... ۹۰
- شکل ۴-۱۵- برازش مقادیر حداکثر Cp به ازای اعداد فرود مختلف در آزمایشات در بازشدگی های مختلف در یک سوم میانی (—) و در یک سوم کناری (—)..... ۹۱
- شکل ۴-۱۶- مقادیر Cp+ (●) و Cp- (■) در یک سوم میانی برای جریان با دبی ۳۲/۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر..... ۹۲
- شکل ۴-۱۷- مقادیر Cp+ (●) و Cp- (■) در یک سوم کناری برای جریان با دبی ۳۲/۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر..... ۹۲
- شکل ۴-۱۸- مقادیر Cp+ (●) و Cp- (■) در یک سوم میانی برای جریان با دبی ۲۶/۲ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر..... ۹۳
- شکل ۴-۱۹- مقادیر Cp+ (●) و Cp- (■) در یک سوم کناری برای جریان با دبی ۲۶/۲ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر..... ۹۳

- شکل ۴-۲۰- مقادیر حداکثر  $Cp'$  به ازای اعداد فرود مختلف در یک سوم میانی (-○-) و یک سوم کناری (-Δ-):  
 ۹۵.....
- شکل ۴-۲۱- مقادیر  $Cp'$  در یک سوم میانی (●) و در یک سوم کناری (■) برای دبی ۱۶/۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۱/۰ سانتیمتر.....  
 ۹۶.....
- شکل ۴-۲۲- مقادیر  $Cp'$  در یک سوم میانی (●) و در یک سوم کناری (■) برای دبی ۲۰/۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۱/۵ سانتیمتر.....  
 ۹۶.....
- شکل ۴-۲۳- مقادیر  $Cp'$  در یک سوم میانی (●) و در یک سوم کناری (■) برای دبی ۲۹/۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۲/۰ سانتیمتر.....  
 ۹۷.....
- شکل ۴-۲۴- مقادیر  $Cp'$  در یک سوم میانی (●) و در یک سوم کناری (■) برای دبی ۳۰/۲ لیتر بر ثانیه و بازشدگی دریچه ۳/۰ سانتیمتر.....  
 ۹۷.....
- شکل ۴-۲۵- مقایسه مقادیر  $Cp+$  حداکثر در پژوهش فعلی (●) با نتایج Toso و Bowers (۱۹۸۸) (■) و نتایج حسونی زاده و همکاران (۱۳۸۰) (▲).....  
 ۱۰۰.....
- شکل ۴-۲۶- مقایسه مقادیر  $Cp-$  حداکثر در پژوهش فعلی (●) با نتایج Toso و Bowers (۱۹۸۸) (■) و نتایج حسونی زاده و همکاران (۱۳۸۰) (▲).....  
 ۱۰۱.....
- شکل ۵-۱- نمودار تعیین اختلاف فشارهای حداکثر اندازه گیری شده و پیشبینی شده در یک سوم میانی.....  
 ۱۱۴.....
- شکل ۵-۲- نمودار تعیین اختلاف فشارهای حداقل اندازه گیری شده و پیشبینی شده در یک سوم میانی.....  
 ۱۱۵.....
- شکل ۵-۳- نمودار تعیین اختلاف فشارهای حداکثر اندازه گیری شده و پیشبینی شده در یک سوم میانی.....  
 ۱۱۶.....
- شکل ۵-۴- نمودار تعیین اختلاف فشارهای حداقل اندازه گیری شده و پیشبینی شده در یک سوم میانی.....  
 ۱۱۶.....
- شکل ۵-۵- نتایج تعیین مقادیر فشارهای دینامیکی برای آزمایش با عدد فرود ۵,۶۷ در شیب صفر درجه.....  
 ۱۱۷.....
- شکل ۵-۶- مقایسه نتایج Toso و Bowers (۱۹۸۸) با روابط ارائه شده این پژوهش.....  
 ۱۱۸.....
- شکل ۵-۷- مقایسه نتایج حسونی زاده و همکاران (فشارهای حداکثر(-□-) و فشارهای حداقل(-□-)) با رابطه ارائه شده این پژوهش (-).....  
 ۱۱۹.....

## فصل اول:

### مقدمه

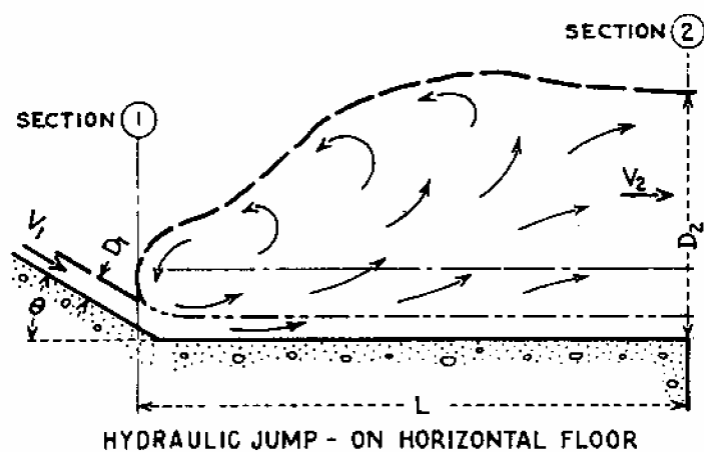


## فصل اول:

### مقدمه

#### ۱-۱- کلیات

یکی از پدیده‌های مورد علاقه محققین در حیطه مهندسی هیدرولیک که تاکنون موضوع اکثر پژوهش‌های علمی بوده است، پرش هیدرولیکی<sup>۱</sup> است. این پدیده شامل تغییر سریع وضعیت جریان از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی بوده که طی آن سطح آب از ابتدای پرش (پنجه) به تدریج افزایش یافته و در انتهای پرش به عمق پایاب متصل می‌شود (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- نمای کلی پرش هیدرولیکی [۱۵]

<sup>۱</sup> Hydraulic Jump

پرش هیدرولیکی عمدتا در کانال‌ها بعد از دریاچه‌های تنظیم کننده جریان، در پنجه سرریزها، در پایین دست شیب شکن ها و یا در جایی که کانال شیب‌دار به طور ناگهانی به یک سطح افقی می‌رسد، رخ می‌دهد. طی این پدیده، جریان فوق بحرانی بدون این‌که به انرژی مینیمم برسد، از عمق بحرانی می‌گذرد. این امر سبب آشفتگی و نوسانات شدید فشار و به صورت گرداب‌ها و جریان‌های غلتانی معکوس همراه می‌باشد. با توجه به تلاطم شدید و عمل اصطکاکی غلتاب، افت انرژی در پرش هیدرولیکی قابل ملاحظه می‌باشد.

از کاربردهای پرش هیدرولیکی می‌توان به استهلاک انرژی در پایین دست سازه‌هایی از قبیل سدها، مشخص کردن شرایط ویژه‌ای از جریان از قبیل وجود جریان فوق بحرانی و یا وجود یک مقطع کنترل برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری، اختلاط مواد شیمیایی برای تصفیه آب و سایر منظورها و در نهایت هوادهی جریان به منظور استفاده در مخازن آب شهری اشاره کرد.

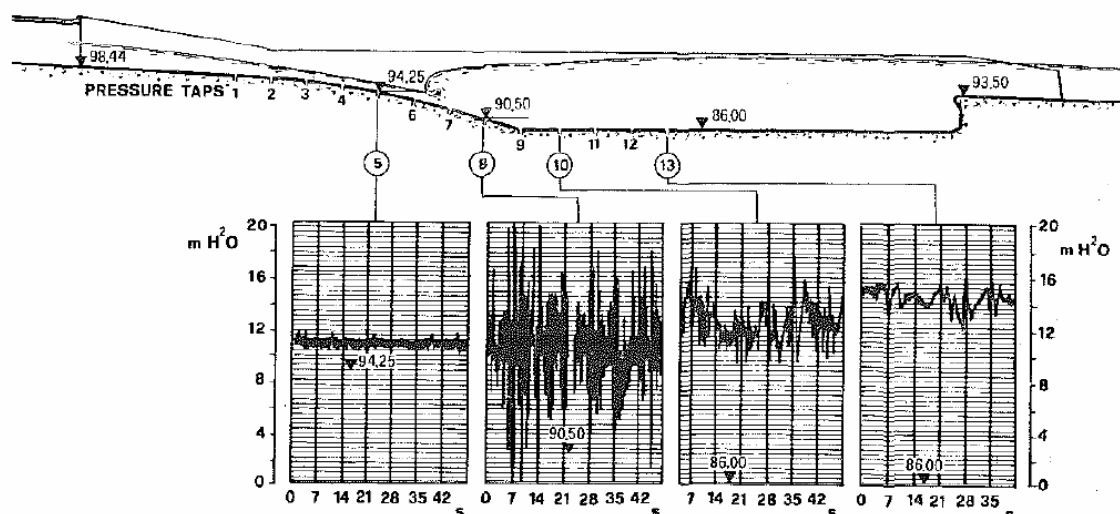
برای جلوگیری از خسارات ناشی از انرژی بسیار بالای آب در جریانهای فوق بحرانی و نیز به منظور از بین بردن انرژی اضافی موجود در چنین جریانی، عموماً لازم است از سازه‌های خاصی به نام انرژی گیر<sup>1</sup> که در پایین دست جریان ساخته می‌شوند، استفاده نمود. این‌گونه سازه‌ها باعث از بین بردن انرژی آب و کنترل و مهار پرش هیدرولیکی می‌شوند و همچنین بعنوان سازه ای جهت ایجاد شرایطی جهت تثبیت پرش هیدرولیکی در یک موقعیت مکانی خاص، به شمار می‌روند. از جمله عمده‌ترین سازه کنترل پرش هیدرولیکی، حوضچه آرامش می‌باشد که عبارت است از قسمت کوتاهی از یک کانال کف‌سازی شده که به صورت سازه‌ای خاص، در پایین‌دست یک سرریز، تنداب و یا یک آبشار از بتن ساخته می‌شود. هدف از ساختن آن، به تشکیل پرش هیدرولیکی در داخل حوضچه خلاصه می‌شود، که در این صورت جریان فوق بحرانی قبل از رسیدن به قسمت‌های غیر کف‌سازی شده رودخانه، به جریان زیربحرانی تغییر حالت داده و از انرژی بسیار بالای آن کاسته می‌شود و از خرابی‌های احتمالی جلوگیری به عمل خواهد آورد.

---

<sup>1</sup> Energy Dissipators

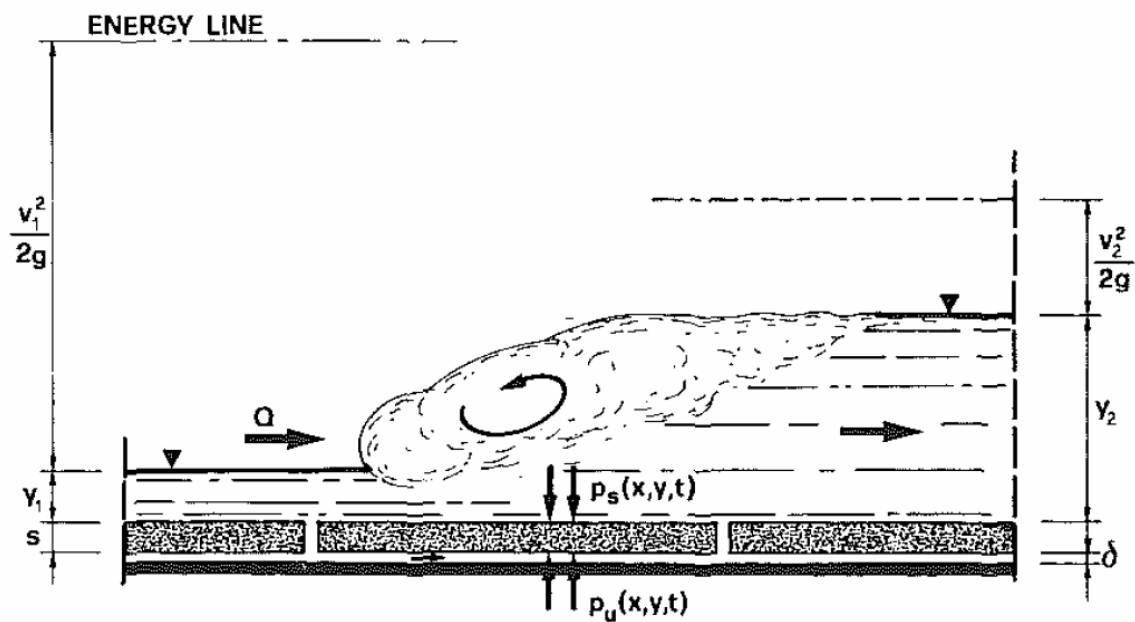
ابعاد حوضچه آرامش تابع مشخصات پرش هیدرولیکی است و با توجه به شدت جریان و عدد فرود در عمق اولیه پرش هیدرولیکی، که به نحوی بیانگر نوع پرش ایجاد شده می‌باشند مشخص می‌شوند. برای کاهش ابعاد حوضچه‌های آرامش، اقداماتی چون ساخت بلوک های پای شوت و یا بلوک های میانی به منظور اتلاف بیشتر انرژی جنبشی جریان در محدوده پرش و کاهش مشخصات آن صورت می‌گیرد، اما در حالت کلی طول حوضچه‌های آرامش با دال مسطح و بدون مانع متناسب با طول پرش هیدرولیکی اجرا خواهد شد.

هنگامیکه پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش رخ می‌دهد، نیروهایی به دال کف حوضچه آرامش وارد می‌شود، که شامل نیروهای هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی می‌باشند. این نیروها، نیروی ناشی از وزن آب روی دال، نیروی بالا برنده وارده به زیر دال و نیروی هیدرودینامیکی ناشی از نوسانات فشار در زیر پرش هیدرولیکی می‌باشند (شکل ۱-۲). نیروی ناشی از فشار هیدرودینامیکی در حوضچه به دلیل ماهیت دو فازی پرش هیدرولیکی و نوسانات گسترده این جریان به همراه تلاطم زیاد رخ میدهد که با روش های معمول قابل اندازه گیری نیست. این فشارها ماهیت خطی ندارند و بر حسب میزان نوسانات و تلاطم جریان در هر نقطه متفاوت می‌باشند.



شکل ۱-۲- نوسانات فشار در زیر پرش هیدرولیکی بر روی سرریز و حوضچه آرامش [۱۳]

برای حفظ پایداری حوضچه از بلندشدگی و تخریب، باید بین نیروهای وارده تعادل برقرار باشد، که این تعادل پس از شناسایی دقیق نیروها و فشارهای ذکر شده و با انتخاب بهینه نوع و ضخامت دال کف برقرار خواهد شد.



شکل ۱-۳- نمایی از نیروهای ناشی از فشار آب و زیرفشار وارد به دال کف در پرش هیدرولیکی [۱۳]