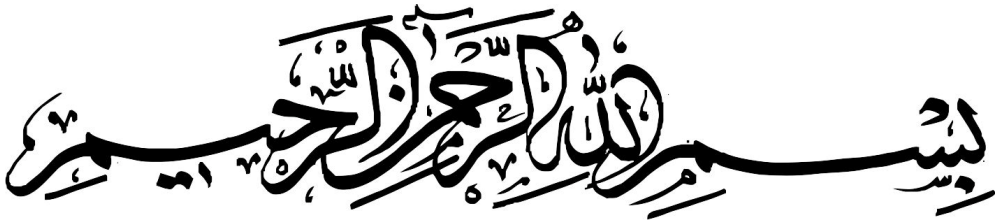
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی

تاثیر دندانه‌ای بودن بستر حوضچه آرامش بر مشخصات پرش هیدرولیکی

اساتید راهنما:
دکتر حسین صمدی بروجنی
دکتر بهزاد قربانی

استاد مشاور:
دکتر روح الله فتاحی نافچی

پژوهشگر:
محبوبه غزالی

مهرماه ۱۳۸۹

دانشگاه شهرکرد

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان‌نامه خانم محبوبه غزالی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی با عنوان: تاثیر دندانه‌ای بودن بستر حوضچه آرامش بر مشخصات پرش هیدرولیکی، در تاریخ ۱۳۸۹/۷/۱۸ با حضور هیات داوران زیر بررسی و با نمره ۱۹/۵۲ مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استادان راهنمای پایان نامه:

دکتر حسین صمدی بروجنی **با مرتبه علمی استادیار**

دکتر بهزاد قربانی **با مرتبه علمی استادیار**

۲- استاد مشاور پایان نامه:

دکتر روح الله فتاحی نافچی **با مرتبه علمی استادیار**

۳- استادان داور پایان نامه:

دکتر منوچهر حیدرپور **با مرتبه علمی دانشیار**

دکتر محمد نوید مقیم **با مرتبه علمی استادیار**

دکتر سید حسن طباطبایی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی

دانشکده کشاورزی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

تشکر و سپاس

من ام ((تشکر اخلاق ام تشکر ارخالق))

سپاس یگانه ای که آموختن را آموخت تا از آموخته هایمان راز آفرینش را فراگیریم.

بر دستان حامیان همیشه مهربان زندگیم **پدر و مادر عزیزم** تمام طول تحصیل و زندگیم مشوق و راهنمای من بودند بوسه می زنم.

این پایان نامه تحت راهنمائی های ارزنده و صبورانه اساتید بزرگوار و گرامی جناب آقای **دکتر حمیدرضا صمدی بروجنی** و جناب آقای **دکتر بهزاد قنبرپناه** خوان راهنمایان بنده و جناب آقای **دکتر حاج الله متاجی زنگانی** شاور بنده صورت گرفت و در این جا بر خود لازم می دانم از همه کلمات ایشان کمال تشکر و سپاس را بنمایم.

از اساتید داور که زحمت داوری باز خوانی پایان نامه را بعهده گرفته اند جناب آقای **دکتر مرتضی حیدرپور** و جناب آقای **دکتر محمود معیدفر** تشکر میکنم.

سپاس و تشکر ویژه دارم از:

کلیه اساتید گروه مهندسی آب دانشگاه شهرکرد که در دوران تحصیل در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد افتخار شاگردیشان را داشته ام.

جناب آقای **دکتر مرتضی یاسی** مدیر ترم تحصیلات تکمیلی

جناب آقای **دکتر شایان نژاد** ترم تحصیلات تکمیلی

جناب آقای **مهندس قاسمی** مسئول آزمایشگاه هیدرولیک

جناب آقای **مهندس رحیمی**

جناب آقای **مهندس الله دادی**

همکلاسی ها و دوستان دوره **کارشناسی** تحصیلم

محمدرضا غزالی

مهرماه ۱۳۸۹

تقدیم به:

پدرم:

کوشیدتا بیاسایم، رنج کشیدتا بیارامم

صبروبردبارش تکیه‌گاهم، وجودوایمانش افتخارم

وتداوم سایه‌اش آرزویم

مادرم:

یگانه دریای عطوفت، مظهر الطاف خدا

تنهامونسی که دعای خیرش همواره بدرقه راهم است

خواهرم، مرضیه، وبرادرم، احمد:

که قلبشان لبریز از محبت وصداقت

وفکرشان همواره شکفتن و بخشش است.

وتقدیم به همه رویندگان راه علم ودانش

چکیده
پرش هیدرولیکی از جمله پدیده‌های هیدرولیکی است که موجب استهلاک انرژی جنبشی آب می‌گردد. سازه‌های هیدرولیکی نظیر حوضچه‌های آرامش عمدتاً به‌منظور استهلاک انرژی در پایین‌دست سرریزها، تندآبها و دریچه‌ها از این خاصیت مهم پرش هیدرولیکی استفاده می‌نمایند. ابعاد این سازه‌ها به‌طور مستقیم به مشخصات پرش هیدرولیکی بستگی دارد، از این رو برای اقتصادی کردن این سازه‌ها، از دیرباز مطالعات گسترده‌ای به‌منظور مطالعات پرش هیدرولیکی و چگونگی کنترل آن و یا به‌حداقل رساندن ابعاد آن صورت گرفته است. از جمله در سال‌های اخیر مشخص گردیده است که زبری ممتد بستر حوضچه‌های آرامش می‌تواند در کاهش ابعاد پرش موثر باشد. در این تحقیق بررسی تجربی مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی ۶ نوع بستر موج‌دار مثلثی در فلومی با مقطع مستطیلی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد انجام گرفت. فلوم دارای عرض و ارتفاع ۰/۴ متر و طول ۱۲ متر بود. در مجموع ۴۲ آزمایش در محدوده اعداد فرود اولیه ۶/۱ تا ۱۳/۱ انجام شد. نتایج نشان داد که عمق پایاب و طول پرش بر روی بسترهای موج‌دار مثلثی نسبت به بستر صاف در شرایط هیدرولیکی یکسان به‌ترتیب ۲۵ و ۵۴/۷ درصد کمتر می‌گردد. بررسی و مقایسه ضریب تنش برشی نشان داد که تنش برشی در بستر زبر به‌طور متوسط ۸/۵ برابر بستر صاف است. همچنین نتایج نشان داد در صورتیکه وجه بالادست زبری مثلثی نسبت به وجه پایین دست زاویه بیشتری نسبت به سطح افق داشته باشد، عملکرد آن در کنترل پرش بیشتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرش هیدرولیکی، بسترهای موج‌دار مثلثی، عمق مزدوج و طول پرش.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه ۱۵

۱-۱- مقدمه ۱۵

۱-۲- فرضیه تحقیق ۱۷

۱-۳- اهداف اصلی طرح ۱۷

۱-۴- روش تحقیق ۱۷

۱-۵- مطالب این تحقیق ۱۸

فصل دوم- تئوری مسئله و بررسی منابع ۱۹

۲-۱- بررسی پرش هیدرولیکی کلاسیک ۱۹

۲-۱-۱- سازه‌های استهلاک انرژی ۲۲

۲-۱-۲- استهلاک انرژی به‌وسیله پرش هیدرولیکی ۲۲

۲-۱-۳- انواع پرش هیدرولیکی ۲۳

۲-۱-۴- محل تشکیل پرش هیدرولیکی ۲۴

۲-۱-۵- معادله مومنتم ۲۵

۲-۱-۶- تابع اندازه حرکت و پرش هیدرولیکی ۲۸

۲-۱-۶-۱- تابع اندازه حرکت ۲۸

۲-۱-۶-۲- منحنی تغییرات M بر حسب Y ۲۸

۲-۱-۶-۳- کاربرد رابطه اندازه حرکت در پرش هیدرولیکی ۲۹

۲-۱-۶-۴- تطابق منحنی‌های انرژی مخصوص و تابع اندازه حرکت برای یک پرش ۳۰

۲-۱-۷- مشخصات پرش هیدرولیکی در کانال با مقطع مستطیلی ۳۱

۲-۱-۷-۱- نسبت عمق‌های مزدوج ۳۱

۲-۱-۷-۲- افت انرژی در پرش هیدرولیکی ۳۳

۲-۱-۷-۳- افت انرژی نسبی در پرش ۳۳

۲-۱-۷-۴- ارتفاع پرش ۳۴

۲-۱-۷-۵- طول پرش هیدرولیکی ۳۴

۲-۱-۷-۶- نیم‌رخ یا پروفیل سطح آب در پرش هیدرولیکی ۳۶

۲-۱-۷-۷- پروفیل سرعت در پرش هیدرولیکی ۳۷

۲-۱-۷-۸- پروفیل سرعت نازل دیواری ۳۸

۲-۱-۷-۹- پروفیل سرعت در پرش آزاد ۴۰

۲-۱-۷-۱۰- تنش برشی مرزی ۴۱

۲-۱-۸- کنترل پرش هیدرولیکی ۴۳

۲-۱-۸-۱- سرریز لبه تیز ۴۳

۲-۱-۸-۲- سرریز لبه پهن ۴۳

۲-۱-۸-۳- برآمدگی ناگهانی (پله مثبت) ۴۳

۲-۱-۸-۴- پایین افتادگی ناگهانی (پله منفی) ۴۴

عنوان **صفحه**

۲-۱-۸-۵- سرریزهای شیب‌شکن ۴۵
۲-۱-۸-۶- حوضچه‌های آرامش ۴۵
۲-۲- بررسی پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای زبر ۵۰
۲-۲-۱- مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای زبر ۵۳
۲-۲-۱-۱- عمق متناظر پرش ۵۳
۲-۲-۱-۲- راندمان پرش ۵۶
۲-۲-۱-۳- طول پرش ۵۷
۲-۲-۱-۴- توزیع متوسط زمانی سرعت ۵۹
۲-۲-۱-۵- تنش برشی بستر ۶۳
۲-۲-۱-۶- ضریب کاهش مومنتم ورودی ۶۵
فصل سوم-مواد و روش‌ها ۶۶
۳-۱- تجهیزات آزمایشگاهی ۶۶
۳-۱-۱- کانال آزمایشگاهی ۶۶
۳-۱-۲- ابزار اندازه‌گیری دبی ۶۷
۳-۱-۳- ابزار اندازه‌گیری سرعت ۶۸
۳-۱-۴- ابزار اندازه‌گیری عمق ۶۸
۳-۲- زبری‌های مورد استفاده ۶۹
۳-۳- چگونگی تشکیل پرش هیدرولیکی ۷۰
۳-۴- برنامه کلی آزمایش‌ها ۷۳
فصل چهارم-نتایج و بحث ۸۲
۴-۱- وضعیت پروفیل سطح آب ۸۲
۴-۲- بررسی عمق مزدوج پرش هیدرولیکی ۸۵
۴-۳- طول پرش ۹۰
۴-۴- پروفیل‌های سرعت ۹۵
۴-۵- افت نسبی انرژی در پرش هیدرولیکی ۱۰۳
۴-۶- تنش برشی بستر ۱۰۴
۴-۷- ضریب کاهش مومنتم ورودی ۱۰۶
۴-۸- بهترین زبری ۱۰۷
۴-۹- نتیجه‌گیری ۱۰۷
۴-۱۰- پیشنهادات ۱۰۸
منابع ۱۰۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ انواع مختلف پرش هیدرولیکی (محمودیان شوشتری، ۱۳۸۷) ۲۴
جدول ۲-۲ مشخصات پروفیل بی‌بعد پرش هیدرولیکی (فرهودی، ۱۳۷۲) ۳۷
جدول ۲-۳ عمق آب در حوضچه آرامش SAF به‌صورت تابعی از y_2 و Fr_1 (بیرامی، ۱۳۸۵) ۴۶
جدول ۳-۱ مشخصات زبری‌های ایجاد شده در کف..... ۷۰
جدول ۳-۲ برنامه کلی آزمایش‌ها و محدوده متغیرهای وابسته..... ۷۳
جدول ۳-۳ مشخصات کلی آزمایشات انجام شده..... ۷۴
جدول ۴-۱ مشخصات آماری معادله رگرسیون برای محاسبه عمق ثانویه پرش ۸۶
جدول ۴-۲ مشخصات آماری معادله رگرسیون برای محاسبه طول پرش..... ۹۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- مشخصات کلی پرش هیدرولیکی..... ۲۲
شکل ۲-۲ محل تشکیل پرش هیدرولیکی (محمودیان شوشتری، ۱۳۸۷) ۲۵
شکل ۲-۳ انتقال مومنتم در نوسانات سرعت توربولنت..... ۲۷
شکل ۲-۴ منحنی تابع اندازه حرکت بر حسب y..... ۲۹
شکل ۲-۵ منحنی نیروی مخصوص بر حسب y..... ۲۹
شکل ۲-۶ تحلیل حجم کنترل برای پرش هیدرولیکی ۳۰
شکل ۲-۷ تطابق منحنی‌های انرژی مخصوص و تابع اندازه حرکت برای یک پرش (محمودیان شوشتری، ۱۳۸۷) ۳۰
شکل ۲-۸ افت انرژی نسبی در یک پرش هیدرولیکی (فرهودی،۱۳۷۲) ۳۴
شکل ۲-۹ تصویر شماتیک طول غلتاب و طول پرش..... ۳۴
شکل ۲-۱۰ طول پرش هیدرولیکی در کانال‌های مستطیلی (به نقل از حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۵) ۳۵
شکل ۲-۱۱ طول پرش هیدرولیکی در کانال مستطیلی افقی (حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۵) ۳۵
شکل ۲-۱۲ شکل توصیفی پروفیل پرش هیدرولیکی..... ۳۶
شکل ۲-۱۳ توزیع سرعت در یک پرش هیدرولیکی..... ۳۸
شکل ۲-۱۴ نازل دیواری (راجاراتنام، ۱۹۶۵) ۳۹
شکل ۲-۱۵ مقیاس‌های سرعت و طول در نازل دیواری ویو و راجاراتنام ۱۹۹۵..... ۳۹
شکل ۲-۱۶ منحنی تراکمی کاهش مقیاس در پرش‌های هیدرولیکی آزاد..... ۴۰
شکل ۲-۱۷ نیروی برشی مرزی (راجاراتنام، ۱۹۶۷) ۴۲
شکل ۲-۱۸ پرش هیدرولیکی در بالاآمدگی ناگهانی (به نقل از چاودهری، ۲۰۰۸) ۴۴
شکل ۲-۱۹ پرش هیدرولیکی در یک پایین افتادگی ناگهانی (حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۵) ۴۵
شکل ۲-۲۰ شمای یک شیب شکن قائم..... ۴۵
شکل ۲-۲۱ حوضچه آرامش SAF (شفاعی بجستان و نیسی، ۲۰۰۹) ۴۷
شکل ۲-۲۲ حوضچه آرامش USBR I (شفاعی بجستان و نیسی، ۲۰۰۹) ۴۷
شکل ۲-۲۳ حوضچه آرامش USBR II (Design of small dams، ۱۹۸۷) ۴۸
شکل ۲-۲۴ حوضچه آرامش USBR III (Design of small dams، ۱۹۸۷) ۴۹
شکل ۲-۲۵ طول پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش USBR I , USBR II USBR III..... ۴۹
شکل ۲-۲۶ حوضچه آرامش USBR IV (خاتسوریا، ۲۰۰۵) ۵۰
شکل ۲-۲۷ نمونه‌ای از زبری‌های استفاده شده در حوضچه‌های آرامش افقی توسط محققین مختلف a) زبری سینوسی شکل، b) زبری ذوزنقه‌ای شکل، c) زبری مثلثی شکل و e) زبری مستطیلی شکل ۵۲
شکل ۲-۲۸ رابطه بین y_2 / y_1 و Fr_1 در پرش‌های کلاسیک و پرش بر روی بستر موجدار ۵۵
شکل ۲-۲۹ تغییرات اتلاف انرژی نسبی پرش هیدرولیکی در بسترهای موجدار به‌ازای عدد فرود اولیه..... ۵۷
شکل ۲-۳۰ طول نسبی پرش هیدرولیکی (لوت هاوزر و اشکیلر، ۱۹۷۵) ۵۷
شکل ۲-۳۱ مقایسه طول پرش بر روی بسترهای موجدار و پرش‌های کلاسیک (ایزدجو و شفاعی بجستان، ۲۰۰۷)... ۵۹
شکل ۲-۳۲ فرم بی‌بعد شده سرعت در ناحیه اختلاط آزاد (راجاراتنام، ۱۹۶۸) ۶۰
شکل ۲-۳۳ پروفیل سرعت (a) در محور مرکزی (b,c) در ناحیه جریان یکنواخت (اید و همکاران، ۲۰۰۰) ۶۱
شکل ۲-۳۴ نمونه‌ای از پروفیل‌های سرعت اندازه‌گیری شده توسط اید و راجاراتنام (۲۰۰۲) ۶۱

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۳۵ تغییرات u_m / u_1 در مقابل x / L_1 ..... ۶۲
شکل ۲-۳۶ تغییرات L / y_1 در مقابل Fr_1 ..... ۶۲
شکل ۲-۳۷ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در طول پرش (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۹) ۶۳
شکل ۲-۳۸ پروفیل‌های سرعت در طول پرش هیدرولیکی (ایزدجو و شفاعی بجستان، ۲۰۰۷) ۶۳
شکل ۲-۳۹ مقایسه تغییرات ضریب نیروی برشی ε در بستر موج‌دار و صاف ۶۴
شکل ۲-۴۰ مقایسه ضریب نیروی برشی بر روی بستر صاف و زبر (ایزدجو و شفاعی بجستان، ۲۰۰۷) ۶۵
شکل ۳-۱ نمای کلی کانال مورد استفاده ۶۷
شکل ۳-۲ سرریز مثلثی مورد استفاده برای اندازه‌گیری دبی ۶۷
شکل ۳-۳ لوله پیتوت مورد استفاده برای اندازه‌گیری سرعت ۶۸
شکل ۳-۴ عمق سنج با دقت ۰/۰۱ سانتیمتر ۶۹
شکل ۳-۵ برداشت اطلاعات پروفیل سطح آب از پنجه تا انتهای پرش به‌وسیله عمق‌سنج ۶۹
شکل ۳-۶ نمونه ای از زبری‌های مورد استفاده در آزمایشات ۷۰
شکل ۳-۷ طراحی بدنه سرریز WES (بیرامی، ۱۳۸۵) ۷۱
شکل ۳-۸ نمای کلی سرریز ساخته شده ۷۱
شکل ۳-۹ دریچه انتهای فلوم برای تنظیم عمق پایاب ۷۲
شکل ۳-۱۰ ایجاد پرش هیدرولیکی با استفاده از سرریز ۷۲
شکل ۳-۱۱ تشکیل پرش هیدرولیکی بر روی بستر با زبری مثلثی ۷۲
شکل ۳-۱۲ چگونگی تشکیل پرش هیدرولیکی بر روی بستر با زبری‌های مثلثی ۷۳
شکل ۳-۱۳ پروفیل سطح آب در آزمایشات سری A (دامنه موج ۱۰/۳ سانتیمتر) ۷۵
شکل ۳-۱۴ پروفیل سطح آب در آزمایشات سری B (دامنه موج ۸/۶ سانتیمتر) ۷۵
شکل ۳-۱۵ پروفیل سطح آب در آزمایشات سری C (دامنه موج ۱۱/۳ سانتیمتر) ۷۶
شکل ۳-۱۶ پروفیل سطح آب در آزمایشات سری D (دامنه موج ۱۱/۳ سانتیمتر) ۷۶
شکل ۳-۱۷ پروفیل سطح آب در آزمایشات سری E (دامنه موج ۱۰/۸ سانتیمتر) ۷۶
شکل ۳-۱۸ پروفیل سطح آب در آزمایشات سری F (دامنه موج ۱۰/۸ سانتیمتر) ۷۷
شکل ۳-۱۹ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش B_1 ($Q=5$ lit/s , $Fr_1=13.1$) ۷۷
شکل ۳-۲۰ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش B_2 ($Q=10$ lit/s , $Fr_1=10.5$) ۷۷
شکل ۳-۲۱ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش B_7 ($Q=35$ lit/s , $Fr_1=6.16$) ۷۸
شکل ۳-۲۲ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش C_3 ($Q=15$ lit/s , $Fr_1=8.79$) ۷۸
شکل ۳-۲۳ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش C_4 ($Q=20$ lit/s , $Fr_1=7.97$) ۷۸
شکل ۳-۲۴ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش C_5 ($Q=25$ lit/s , $Fr_1=7.13$) ۷۸
شکل ۳-۲۵ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش D_1 ($Q=5$ lit/s , $Fr_1=11.3$) ۷۹
شکل ۳-۲۶ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش D_3 ($Q=15$ lit/s , $Fr_1=9.28$) ۷۹
شکل ۳-۲۷ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش E_1 ($Q=5$ lit/s , $Fr_1=11.6$) ۷۹
شکل ۳-۲۸ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش E_2 ($Q=10$ lit/s , $Fr_1=10.6$) ۷۹
شکل ۳-۲۹ پروفیل های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش E_4 ($Q=20$ lit/s , $Fr_1=8.03$) ۸۰
شکل ۳-۳۰ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش E_5 ($Q=25$ lit/s , $Fr_1=7.24$) ۸۰

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۳۱ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش E_6 ($Q=30$ lit/s , $Fr_1=6.8$) ۸۰
شکل ۳-۳۲ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش F_6 ($Q=30$ lit/s , $Fr_1=6.85$) ۸۰
شکل ۳-۳۳ پروفیل‌های عمقی سرعت در طول پرش هیدرولیکی در آزمایش F_7 ($Q=35$ lit/s , $Fr_1=6.38$) ۸۱
شکل ۴-۱ پروفیل بی‌بعد سطح آب در آزمایشات سری A ۸۳
شکل ۴-۲ پروفیل بی‌بعد سطح آب در آزمایشات سری B ۸۳
شکل ۴-۳ پروفیل بی‌بعد سطح آب در آزمایشات سری C ۸۳
شکل ۴-۴ پروفیل بی‌بعد سطح آب در آزمایشات سری D ۸۴
شکل ۴-۵ پروفیل بی‌بعد سطح آب در آزمایشات سری E ۸۴
شکل ۴-۶ پروفیل بی‌بعد سطح آب در آزمایشات سری F ۸۴
شکل ۴-۷ نمایش یکجای پروفیل بی‌بعد سطح آب برای آزمایشات انجام شده ۸۵
شکل ۴-۸ نسبت y_2 / y_1 در برابر Fr_1 برای Sheet I ۸۷
شکل ۴-۹ نسبت y_2 / y_1 در برابر Fr_1 برای Sheet II ۸۷
شکل ۴-۱۰ نسبت y_2 / y_1 در برابر Fr_1 برای Sheet III ۸۷
شکل ۴-۱۱ نسبت y_2 / y_1 در برابر Fr_1 برای Sheet IV ۸۷
شکل ۴-۱۲ نسبت y_2 / y_1 در برابر Fr_1 برای Sheet V ۸۷
شکل ۴-۱۳ نسبت y_2 / y_1 در برابر Fr_1 برای Sheet VI ۸۷
شکل ۴-۱۴ نسبت y_2 / y_1 در برابر Fr_1 در پرش کلاسیک و پرش بر روی بسترهای زبر ۸۸
شکل ۴-۱۵ مقایسه نسبت y_2 / y_1 در برابر Fr_1 در پرش کلاسیک و پرش بر روی زبرهای مختلف ۸۸
شکل ۴-۱۶ مقادیر D به‌دست آمده از آزمایشات مختلف بر حسب عدد فرود ۸۹
شکل ۴-۱۷ نسبت L_j / y_2 در برابر Fr_1 برای زبری I ۹۱
شکل ۴-۱۸ نسبت L_j / y_2 در برابر Fr_1 برای زبری II ۹۱
شکل ۴-۱۹ نسبت L_j / y_2 در برابر Fr_1 برای زبری II ۹۱
شکل ۴-۲۰ نسبت L_j / y_2 در برابر Fr_1 برای زبری IV ۹۱
شکل ۴-۲۱ نسبت L_j / y_2 در برابر Fr_1 برای زبری V ۹۱
شکل ۴-۲۲ نسبت L_j / y_2 در برابر Fr_1 برای زبریVI ۹۱
شکل ۴-۲۳ مقادیر طول نسبی پرش (Lj / y_2^*) به‌ازای اعداد فرود اولیه ۹۲
شکل ۴-۲۴ مقایسه طول پرش هیدرولیکی این مطالعه با حوضچه‌های USBR ۹۳
شکل ۴-۲۵ نسبت L_r / y_1 در برابر Fr_1 برای زبری I ۹۳
شکل ۴-۲۶ نسبت L_r / y_1 در برابر Fr_1 برای زبری II ۹۳
شکل ۴-۲۷ نسبت L_r / y_1 در برابر Fr_1 برای زبری III ۹۴
شکل ۴-۲۸ نسبت L_r / y_1 در برابر Fr_1 برای زبری IV ۹۴
شکل ۴-۲۹ نسبت L_r / y_1 در برابر Fr_1 برای زبری V ۹۴
شکل ۴-۳۰ نسبت L_r / y_1 در برابر Fr_1 برای زبری VI ۹۴
شکل ۴-۳۱ مقادیر طول نسبی غلتاب پرش (Lr / y_2^*) به‌ازای اعداد فرود اولیه ۹۵
شکل ۴-۳۲ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش B1 ..... ۹۵

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۳۳ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش B2 ۹۵
شکل ۴-۳۴ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش B7 ۹۶
شکل ۴-۳۵ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش C3 ۹۶
شکل ۴-۳۶ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش C4 ۹۶
شکل ۴-۳۷ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش C5 ۹۶
شکل ۴-۳۸ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش D1 ۹۶
شکل ۴-۳۹ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش D3 ۹۶
شکل ۴-۴۰ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش E1 ۹۶
شکل ۴-۴۱ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش E2 ۹۶
شکل ۴-۴۲ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش E4 ۹۷
شکل ۴-۴۳ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش E5 ۹۷
شکل ۴-۴۴ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش E6 ۹۷
شکل ۴-۴۵ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش F6 ۹۷
شکل ۴-۴۶ پروفیل‌های بی‌بعد سرعت در آزمایش F7 ۹۷
شکل ۴-۴۷ منحنی تجمعی پروفیل‌های بی‌بعد شده سرعت ۹۸
شکل ۴-۴۸ پروفیل‌های بی‌بعد شده سرعت برای پرش بر روی بسترهای زبر و صاف ۹۸
شکل ۴-۴۹ تغییرات u_m / u_1 به‌ازای x / L_j ۹۹
شکل ۴-۵۰ تغییرات u_m / u_1 به‌ازای x / y_1 ۹۹
شکل ۴-۵۱ تغییرات u_m / u_1 به‌ازای x / L ۱۰۰
شکل ۴-۵۲ تغییرات L / y_1 به‌ازای Fr_1 ۱۰۰
شکل ۴-۵۳ تغییرات مقیاس طولی b / y_1 به‌ازای x / y_1 ۱۰۰
شکل ۴-۵۴ تغییرات مقیاس طولی b / y_1 به‌ازای x / y_1 برای بسترهای صاف و زبر ۱۰۱
شکل ۴-۵۵ تغییرات ضخامت لایه مرزی بی‌بعد δ / y_1 به‌ازای x / y_1 ۱۰۲
شکل ۴-۵۶ تغییرات ضخامت لایه مرزی بی‌بعد δ / b به‌ازای x / y_1 ۱۰۲
شکل ۴-۵۷ تغییرات ضخامت لایه مرزی بی‌بعد δ / y_1 به‌ازای x / y_1 برای بستر با زبری‌های متفاوت ۱۰۳
شکل ۴-۵۸ تغییرات اتلاف انرژی نسبی پرش هیدرولیکی در بسترهای موجدار به‌ازای اعداد فرود اولیه ۱۰۳
شکل ۴-۵۹ تغییرات نرخ اتلاف انرژی پرش هیدرولیکی به‌ازای اعداد فرود اولیه ۱۰۴
شکل ۴-۶۰ مقایسه تغییرات ضریب نیروی برشی ε در بستر زبر و صاف ۱۰۵
شکل ۴-۶۱ مقایسه تغییرات ε حاصل از این تحقیق با نتایج سایر محققین بر روی بسترهای زبر و بستر صاف ۱۰۶
شکل ۴-۶۲ مقایسه ضریب β آزمایشات با مقدار محاسبه شده از رابطه کارولو و همکاران (۲۰۰۷) در برابر Fr_1 ۱۰۶
شکل ۴-۶۳ مشخصات زبری مثلثی شماره۶ ۱۰۷

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در طراحی سازه‌های مرتبط با مجاری روباز، حفاظت از سازه‌ها در برابر افزایش سرعت و انرژی جنبشی حائز اهمیت فراوان است. در پایین‌دست سرریز سدها، به‌دلیل اختلاف ارتفاع زیاد، سرعت جریان و نهایتاً انرژی جنبشی به‌شدت افزایش می‌یابد که عدم کاهش این انرژی باعث فرسایش کف و ایجاد گودال در پایین دست سد خواهد شد که در درازمدت باعث تخریب سد می‌شود. سازه‌هایی که باعث کاهش انرژی جریان و پایین آوردن سرعت به حد قابل‌قبولی می‌شوند، سازه‌های مستهلک کننده انرژی نامیده می‌شوند. این سازه‌ها به‌شرح زیر می‌باشند:

الف) سازه‌های مستهلک کننده انرژی در جهت افقی: در این سازه‌ها که بیشتر در پایین‌دست سرریز سدها، در کانال‌ها و در انتهای شیب شکن‌ها دیده می‌شوند، انرژی آب به‌صورت پرش هیدرولیکی تلف می‌شود که انواع حوضچه‌های آرامش از این نوع می‌باشند.

ب) سازه‌های مستهلک کننده انرژی در جهت عمودی: این سازه‌ها بیشتر در کانال‌های آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند و از انواع آنها می‌توان به چاه آرامش اشاره نمود.

ج) سازه‌های مستهلک کننده انرژی در دو جهت افقی و عمودی: این سازه‌ها شامل انواع شیب شکن‌های قائم و مایل می‌باشند که کاربرد غالب آنها در کانال‌های آبیاری است.

بنابراین حوضچه‌های آرامش از نوع پرشی معمول‌ترین مستهلک‌کنندهٔ انرژی مورد استفاده در مجاری روباز می‌باشند.

پرش هیدرولیکی موضوعی است که در مهندسی هیدرولیک، به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. پرش آبی پدیده‌ی جالبی است که پس از تعریف اولیه آن توسط لئوناردوداوینچی، فکر بسیاری از محققان را به خود مشغول داشته است. مهندس ایتالیایی، بیدونه (۱۸۱۸)، با اولین تحقیق آزمایشگاهی برروی این پدیده، مشهور شده است. پس از آن، تلاش تحقیقاتی قابل ملاحظه‌ای برای مطالعه این موضوع صورت گرفته است. دلیل عمده چنین توجهی به این موضوع، بهره‌گیری عملی وسیع، در مهندسی هیدرولیک و زمینه‌های وابسته آن است. یک پرش آبی عمدتاً به‌عنوان یک وسیله انرژی‌کاه برای کاستن انرژی اضافی جریان پایاب سازه‌های هیدرولیکی، نظیر سرریزهای سطحی و دریچه‌های خروجی، عمل می‌نماید (فرهودی، ۱۳۷۲).

پرش یا جهش هیدرولیکی، یک جریان متغیر سریع در جریان‌های روباز می‌باشد و عبارت است از پدیده‌ای که در آن جریان از حالت فوق‌بحرانی به حالت زیربحرانی تبدیل می‌شود. در اثر پدیده پرش هیدرولیکی عمق جریان در مسیر نسبتاً کوتاهی به‌میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و در نتیجه ضمن ایجاد افت انرژی محسوس، از میزان سرعت جریان به‌اندازه قابل توجهی کاسته می‌گردد.

حوضچه‌های آرامش غالباً دارای اجزایی نظیر بلوک‌های سرعت‌گیر و آبپایه (sill) و غیره می‌باشند که پرش هیدرولیکی حاصل از آنها تحت عنوان پرش هیدرولیکی اجباری (Forced Hydraulic Jump)، خوانده می‌شود. پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های فاقد این گونه ضمائم پرش هیدرولیکی آزاد (Free Hydraulic Jump)، نامگذاری شده است.

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای بر روی انواع حوضچه‌های آرامش انجام شده است و چند نوع از این حوضچه‌ها استاندارد گردیده‌اند، که مشهورترین آنها حوضچه‌های آرامش USBR (IV, III, II, I) و حوضچه‌ی SAF می‌باشند. نکته قابل توجه در مورد حوضچه‌های آرامش با توجه به بتنی بودن این سازه‌ها، ابعاد حوضچه است. طول پرش بر طبق توصیه دفتر عمران ارتش آمریکا حدود ۶ برابر عمق ثانویه پرش است و این طول زیاد، باعث بالا رفتن هزینه‌های ساخت می‌شود. هدف از ساخت انواع بلوک‌ها در حوضچه‌های آرامش کوتاهتر کردن طول پرش و پایدار نمودن پرش می‌باشد.

در هفتاد سال گذشته، به‌دلیل اهمیت و کاربرد بسیار زیاد پرش هیدرولیکی، مطالعات گسترده‌ای در این مورد انجام گرفته است. پرش هیدرولیکی که در بسترهای صاف، افقی و با شکل حوضچه منشوری اتفاق می‌افتد، به‌نام پرش هیدرولیکی کلاسیک نامگذاری شده است که دارای الگوی جریان دو بعدی می‌باشد. این نوع پرش، پیش از این توسط محققین زیادی از جمله پترکا (۱۹۵۸)، راجاراتنام (۱۹۶۷)، مک کرکدیل (۱۹۸۶) و هاگر (۱۹۹۲) مورد مطالعه قرار گرفته است. اهداف اصلی مطالعات ایشان، ایجاد روابطی برای پیش‌بینی خصوصیات پرش نظیر طول پرش، عمق پایاب مورد نیاز، میزان استهلاک انرژی، توزیع سرعت جریان، نوسانات فشار و پروفیل سطح آب در طول پرش بوده است. ولی عمده کارهای انجام شده برای اقتصادی کردن حوضچه‌های آرامش معطوف به طراحی آبپایه و بلوک‌ها بوده است. اید و راجاراتنام (۲۰۰۲) با کاربرد ایده مواج کردن کف حوضچه آرامش و انجام برخی آزمایشات نشان دادند که با این روش جدید می‌توان طول حوضچه آرامش را تا نصف حوضچه‌های با بستر صاف تقلیل داد، به‌علاوه اینکه در این نوع حوضچه عمق پایاب مورد نیاز نیز تا ۲۵ درصد کاهش یافته و این نتایج درخور توجه می‌باشد. مطالعات ایزدجو و شفاعی بجستان (۲۰۰۷)، نشان داد که تحت تاثیر زبری‌های موجی شکل با مقطع ذوزنقه‌ای، طول پرش ۵۰ درصد و عمق مزدوج پرش ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. نتایج مطالعات عباسپور و همکاران (۲۰۰۹)، بر روی زبری‌های

سینوسی شکل، توافق خوبی با نتایج پیش‌بینی شده داشتند و نشان دادند که زبری‌های بستر می‌توانند در استهلاک انرژی در حوضچه‌های آرامش موثر باشند.

۱-۲- فرضیه تحقیق

این تحقیق بر این فرضیه استوار است که دندانه‌ای بودن بستر از طریق افزایش تنش برشی و در نتیجه تلاطم بیشتر جریان باعث استهلاک قابل توجه انرژی و کاهش طول پرش هیدرولیکی و عمق پایاب می‌گردد.

۱-۳- اهداف اصلی طرح

در این تحقیق اهداف زیر دنبال خواهد شد:

۱-طول پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش با بستر دندانه‌ای اندازه‌گیری خواهد شد و تأثیر دندانه‌ای بودن کف حوضچه‌های آرامش در کاهش طول حوضچه آرامش مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۲- عمق پایاب در شرایط بستر زبر تعیین خواهد گردید و تأثیر دندانه‌ای بودن کف حوضچه در کاهش عمق پایاب مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۳- توزیع سرعت در محدوده پرش اندازه‌گیری و با شرایط بسترهای معمولی مقایسه خواهد شد.

۴- با تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده از مراحل اول تا سوم و مقایسهٔ آن با شرایط بستر صاف در خصوص تأثیر دندانه‌ای بودن بستر اظهارنظر خواهد شد.

۱-۴- روش تحقیق

در این تحقیق به‌منظور آزمون نمودن فرضیات تحقیق مراحل زیر انجام شده است:

الف) جمع‌آوری منابع، مؤاخذ و اطلاعات مرتبط با موضوع طرح و مطالعه و بررسی آنها و تهیه شرح کامل پیشینه تحقیق و بسط تئوری‌های حاکم بر مسئله بر اساس آخرین یافته‌ها.

ب) طراحی بستر دندانه‌ای و ساخت آن به‌طوری‌که عرضی معادل عرض فلوم موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد داشته باشد.

ج) طرح‌ریزی نهایی برای انجام آزمایشات مورد نیاز روی مدل فیزیکی و تهیه روش کار و تهیه دستورالعمل نحوه انجام آزمایشات و اندازه‌گیری‌های مربوطه.

د) انجام آزمایشات روی مدل فیزیکی بر اساس برنامه‌ریزی انجام شده و بررسی و اعتبارسنجی نتایج آزمایشات و در صورت نیاز تکرار برخی از آزمایشات.

ه) بسط و توسعه تئوری، تجزیه و تحلیل نتایج و انجام تحلیل‌های مربوطه روی نتایج آزمایشات و مشخص کردن آزمایشات تکمیلی مورد نیاز جهت انجام آنها.

و) بحث روی کارهای انجام شده، نتیجه‌گیری و ارائه نهایی نتایج و پایان‌نامه.

در این تحقیق از فلوم موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد استفاده گردید. این فلوم شیب-پذیر بوده و دارای عرض و ارتفاع ۴۰ سانتی متر و طول کلی ۱۲ متر می‌باشد. از آنجائیکه تحقیقات زیادی در رابطه با حوضچه‌های آرامش با بستر زبر انجام نشده است، لذا در این تحقیق سعی شده که آزمایشات برای یک محدوده وسیع عدد فرود انجام شود تا نتایج قابل تعمیم برای شرایط مختلف هیدرولیکی جریان باشد.

۱-۵- مطالب این تحقیق

تحقیق حاضر در چهار فصل ارائه می‌گردد که به‌شرح زیر می‌باشند:

فصل اول کلیات که به ارائه مقدمه و اهمیت موضوع، اهداف و فرضیه تحقیق و روش انجام کار پرداخته شده است.

فصل دوم (بررسی منابع)، که در این بخش شرح مختصری از پیشینه تحقیقات در خصوص پرش هیدرولیکی بر روی بستر صاف (پرش کلاسیک) و پرش بر روی بستر زبر، مشخصات پرش هیدرولیکی کلاسیک و زبر بر اساس نتایج تحقیقات سایر محققین و انواع مستهلک کننده‌های انرژی ارائه شده است.

در فصل سوم به تشریح مواد و روش‌ها که شامل تجهیزات و وسایل آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش می‌باشد، خصوصیات بسترهای زبر طراحی شده، روش انجام و برنامه کلی آزمایشات پرداخته شده است.

فصل چهارم (نتایج و بحث)، در این بخش تحلیل و بررسی نتایج حاصل از آزمایشات انجام گرفته بر روی بستر زبر و مقایسه نتایج با حالت کلاسیک و نیز سایر تحقیقات انجام شده در خصوص پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای زبر ارائه شده است.

فصل دوم

تئوری مسئله و بررسی منابع

با توجه به اینکه بررسی خصوصیات مربوط به پرش هیدرولیکی مستلزم آشنایی با مفاهیم هیدرولیکی بسیاری می‌باشد که با دانستن آنها شناخت این پدیده عمیق‌تر صورت خواهد گرفت، از این رو در بخش‌های مختلف این فصل برخی از مفاهیم کلی مربوط به هیدرولیک مجاری باز بیان شده و در ادامه مبانی مربوط به پرش‌های هیدرولیکی کلاسیک و پرش‌های هیدرولیکی بر روی بسترهای زبر تشریح می‌گردد.

۲-۱- بررسی پرش هیدرولیکی کلاسیک

با توجه به سادگی هندسه آبراهه پرش‌های کلاسیک و اهمیتی که این سادگی در طراحی حوضچه‌های آرامش دارد، پرش هیدرولیکی کلاسیک طی ۷۰ سال اخیر دارای اهمیت ویژه‌ای بوده است. این پدیده در قرن ۱۶ توسط لئوناردوداوینچی توصیف گردیده است، اما از سال ۱۸۲۰ که بیدونه ایتالیایی نتایج اولین آزمایشات خود را چاپ کرد، مورد توجه خاص قرار گرفت. بخش‌های جالب و مهم آزمایشات وی شامل موارد زیر بود:

- نسبت عمق‌های متناظر بالادست و پایین‌دست پرش.
- طول پرش که از پنجه پرش تا ناحیه عمق پایاب اندازه‌گیری شده بود.

نسبت عمق‌های متناظر با استفاده از معادله مومنتم به‌خوبی توسط بلانگر (۱۸۳۸)، پیش‌بینی گردید. مطالعات تئوری و آزمایشات بیشتری توسط برسی فرانسوی (۱۸۶۰) انجام شد. بزین و دارسی (۱۸۶۵)، بوزینسک (۱۸۷۷) و فورشهایمر (۱۹۱۴ و ۱۹۲۵) به‌خوبی خلاصه‌ای از مطالعات پرش هیدرولیکی را ارائه نمودند. اطلاعات آزمایشگاهی زیادی توسط گیبسون (۱۹۱۴) برای اعداد فرود تا ۸/۶ ارائه گردید. مطالعات مولر (۱۸۹۴) را می‌توان به‌عنوان یک نمونه از یک روش متفاوت در قیاس با مطالعات فرانسوی‌ها در زمینه هیدرولیک در نظر گرفت.

اولین مطالعات آزمایشگاهی سیستماتیک بر روی پرش هیدرولیکی کلاسیک توسط سفرانز (۱۹۲۷ و ۱۹۲۹) انجام شده است. اگرچه هینز (۱۹۲۰)، استیونس (۱۹۲۵)، لوی و المز (۱۹۲۷) و منتقدین آنها در مورد اینکه پرش به چه چیزی اطلاق می‌شود بحث‌هایی داشته‌اند؛ اما مقاله سفرانز (۱۹۲۷)، خلاصه‌ای از مطالعات پیشین از جمله اطلاعات بیدونه، دارسی بزن و فریدی مریمان (۱۸۹۵) را دارا است. همچنین اطلاعات سازمان محیط زیست میامی (ریگل و بیبه، ۱۹۱۷)، هورتون (۱۹۱۶) و کنیسون (۱۹۱۶)، در آن گنجانده شده است. بر اساس مطالعات انجام شده توسط کنسیون، سفرانز و فلش بارت (۱۹۲۹)، محاسبه عمق‌های متناظر با استفاده از معادله مومنتم، در سطح عمومی پذیرفته شد.

سفرانز (۱۹۲۹)، پروفیل پرش‌ها را در محدوده جریان غلتابی مشخص نمود و طی آن معادله‌ای را برای محاسبه طول جریان غلتابی، ارائه داد و استهلاک انرژی را به حرکت غلتابی جریان در ناحیه غلتابی مربوط دانست و در پایان اولین دوره تحقیقاتی پرش‌های هیدرولیکی، مبانی محدوده طولی و ارتفاعی پرش را تعیین نمود. سفرانز (۱۹۳۰)، استهلاک انرژی جریان غلتابی را مورد بررسی قرار داد و طول جریان غلتابی را بر اساس مطالعات واچرز (۱۹۳۰)، پیتر کوسکی (۱۹۳۲) و مطالعات قبلی خودش دوباره تحلیل نمود.

در طول دوره دوم مطالعه در مورد پرش هیدرولیکی، عمده مطالعات و نتایج توسط ایالات متحده آمریکا به‌دست آمد که طی آن بخمتف (۱۹۳۲)، در مورد جریان آبراهه‌های باز بحث نمود و راس (۱۹۳۴)، فرضیه اعداد بدون بعد و عدد فرود که از شاخص‌های مهم پرش هیدرولیکی می‌باشد را ارائه نمود.

هوک (۱۹۳۴)، پرش‌های بزرگ و همچنین عکسبرداری از آنها را گزارش نمود و دراموند (۱۹۳۵)، یک روش ساده طراحی را ارائه داد. بخمتف و ماتزکه (۱۹۳۶)، پروفیل‌های بدون بعد سطح آزاد آب و همچنین داده‌های آزمایشی عمق‌های متناظر و طول پرش را ارائه نمودند. سومین مطالعه انجام شده در خصوص طراحی، توسط اسکوبی (۱۹۳۹) ارائه گردید. مور (۱۹۴۳)، وضعیت ایجاد پرش در انتهای شیب شکن‌ها و همچنین انواع فرم‌های پرش و پروفیل سطحی را مورد بررسی قرار داد و بخمتف و ماتزکه با بررسی این مقاله ایده توزیع سرعت را ارائه دادند.

سایر مطالعاتی که در این میان حائز اهمیت هستند توسط اسمتانا (۱۹۳۳ و ۱۹۳۵) در چکسلواکی، ویسیکی (۱۹۳۱) در سوئیس، جونز (۱۹۲۸) و انگل (۱۹۳۳) در انگلستان، لیندکویست (۱۹۲۷ و ۱۹۳۳) در سوئد، اسکاتد (۱۹۳۸ و ۱۹۴۶) در فرانسه، فرگلیو (۱۹۳۹) در ایتالیا و محققین روسی از جمله آروین (۱۹۳۵) و سوئوسو (۱۹۳۵) ارائه گردیده است. نقد و بررسی‌های مهمی نیز توسط شوکلیچ (۱۹۳۵)، سیترینی (۱۹۳۹) و بعد از آن توسط جیگر (۱۹۴۹) انجام شد. دوره دوم مطالعات پرش هیدرولیکی با آغاز جنگ جهانی دوم به اتمام رسید.

در اواخر دوره ۵۰ و اوایل دوره ۶۰، سه کار عمده در زمینه پرش‌های هیدرولیکی از جمله مطالعات راس و همکاران (۱۹۵۹) و اشکرودر (۱۹۶۳) و راجاراتنام (۱۹۶۵) انجام گرفت. تمام این مطالعات با میدان سرعت داخلی و ویژگی‌های توربولنت در پرش هیدرولیکی در ارتباط بودند. به‌طور همزمان برادلی و پترکا (۱۹۵۷)، اطلاعات بیشتری را در هنگام مطالعه جریان دریچه‌ها توسط فرانکو (۱۹۵۵ و ۱۹۶۱) جمع آوری کردند.

راجاراتنام (۱۹۶۲ و ۱۹۶۸)، پروفیل سطح آزاد را تعریف کرد. پاتاب هیرامایا (۱۹۶۴)، اثرات ویسکوزیته را مورد بررسی قرار داد و هانکو (۱۹۶۵)، میزان افت انرژی در پرش را مطالعه کرد. مطالعات تئوری مربوط به عمق‌های متناظر و طول پرش توسط فلورز (۱۹۵۴) و اشکرودر (۱۹۵۴ و ۱۹۶۴) انجام شده است. آنی