



دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی پخش هیدرولیکی و افت انرژی بر روی بستر درشت دانه

مصطفی شرفی

آبان ۱۳۹۱



دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی پرش هیدرولیکی و افت انرژی بر روی بستر درشت دانه

مصطفی شرفی

استاد راهنما:

دکتر محمود فغفور مغربی

استاد مشاور:

دکتر محمد جواد کتابداری

آبان ۱۳۹۱



تصویب نامه

این پایان نامه با عنوان «بررسی پرش هیدرولیکی و افت انرژی بر روی بستر درشت دانه» توسط آقای «مصطفی شرفی» در تاریخ ۹۱/۰۸/۰۴ با نمره و درجه ارزشیابی در حضور هیأت داوران با موفقیت دفاع شد.

هیأت داوران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	سمت در هیأت	امضاء
۱	آقای دکتر محمود فغفور مغربی	استاد	استاد راهنما	
۲	آقای دکتر محمدجواد کتابداری	دانشیار	استاد مشاور	
۳	آقای دکتر سید محمود حسینی	استاد	استاد داور	
۴	آقای دکتر سید محمود حسینی	استاد	نماینده تحصیلات تکمیلی	

تعهد نامه

عنوان پایان نامه: بررسی پیرش هیدرولیکی و افت انرژی بر روی بستر درشت دانه

- اینجانب مصطفی شرفی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - گرایش سازه‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی آقای دکتر محمود فغفور مغربی متعهد می‌شوم:
- نتایج ارائه شده در این پایان‌نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می‌گیرم.
 - در خصوص استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مراجع مورد نظر استناد شده است.
 - مطالب مندرج در این پایان‌نامه را اینجانب یا فرد دیگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
 - کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان‌نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (*Ferdowsi University of Mashhad*) به چاپ خواهد رسید.
 - حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت خواهد شد.
 - در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافت‌های آن‌ها برای انجام پایان‌نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.

مصطفی شرفی

۹۱/۰۸/۰۴

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.
- استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

چکیده:

در این تحقیق به بررسی پرش هیدرولیکی بر روی بستر زبر پرداخته شده و تاثیرات افزایش ارتفاع زبری بر روی پارامترهای پرش و افت انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای زبر درشت دانه، با زبریهای یکنواخت در فلوم افقی مستطیلی به عرض ۳۰ سانتیمتر، طول ۱۱ متر، نرخ جریان از ۳ تا ۳۰ l/s و اعداد فرود بین ۲/۱ تا ۱۷/۶ انجام شده است. آزمایش ها برای بستر صاف و دو زبری با قطر میانه ۳/۵ و ۱۱ میلیمتر و سه باز شدگی دریچه انجام شدند. مشخص شد که عمق ثانویه پرش بر روی سطوح زبر نسبت به سطوح صاف کاهش دارد و برای برخی از آزمایش ها تغییر در ارتفاع زبری ها تأثیر چندانی بر روی مشخصات پرش ندارد و برای سایر آزمایشات با افزایش زبری مشخصات پرش تحت تأثیر قرار می گیرد. مقدار عمق ثانویه نسبت به حالت کلاسیک ۲۱ درصد کاهش می یابد. طول پرش نسبت به حالت کلاسیک بین ۳۰ الی ۴۷ درصد کاهش می یابد. تنش برشی کف بر روی بسترهای زبر بیشتر از بسترهای صاف می باشد. افت انرژی درکل پرش به میزان ۳۴ درصد کاهش می یابد، طول غلتاب، افت انرژی در بالادست پرش و پروفیل سطح پرش نیز مورد بررسی قرار گرفتند.

کلید واژه: پرش هیدرولیکی، بستر زبر، عمق ثانویه، افت انرژی، طول پرش

تقدیرم به پدر و مادر عزیزم

آنان که نهایت را برایم معنا زد و دغدغه چراغ همیشه روشن تالیکی جیاتم هر دنده آنان که سجت شدند تا روان
بمانم و نرم شدند تا استوار باشم میدارم لایق از دهنه کلاه آنان باشم و حتی برای بر خطای شادبختش و جودشان

شوم.

یا اباصالح المهدی (ع)

دوش در حلقه ما قصه کید وی تو بود تامل شرب سخن از سلسله موی تو بود
دل انگناوک در میان تو در خون من گشت باز مشتاق گلخانه ابروی تو بود
هم عفا الله صبا کز تو پیلوی من داد ورنه در آس زبیدیم الله کوی تو بود
عازم دور و شمر عشق ز مریج نداشت قتلنگه ز جهان غمزه جادوی تو بود
من سرگشته هم از بهل سلامت بودم دلم را هم سکن طره هندوی تو بود
باش بند قبا تا باشی دل من که اشادی که را بود نپیلوی تو بود
به وفای تو که بر تربت حافظ بگزر کز جهان مشدود آرزوی روی تو بود

تشکر و قدردانی

اکزون که با عنایت پروردگار کار نگارش این پایان نامه به سرانجام رسید، وظیفه هونم مراتب امتنانی خود را از استاد بزرگوارم جناب

آقای دکتر مژده مری بر جای آوردم ایشان با دقت، دانش و صبر بیست گز از سنگ عریان خود مرا حل انجام این پژوهش را و زانه

یارکم نمودند و همچنین از جناب آقای دکتر که تکلیف مرا بر این پژوهش را برای این جانب هر وار نه و باره نماند های ارزنده شان

گروه از مشکلات این گروه و نهایت تشکر و سپاس را دارم.

از ارتو به ترم دفاع جناب آقای که تمجید و تقدیر بر من این اثر را عده دار بودند کمال تشکر را دارم.

از آقایان محمدعلی شایقی، مرسلوئی و سایر دوستان که در این پژوهش این جانب را یاری نمودند و تشکر و قدردانی می نمایم.

فهرست مطالب

۱۸.....	فصل اول: تعاریف کلی
۲.....	۱-۱ مقدمه
۴.....	۲-۱ هدف و کاربردها (هدف از انجام تحقیق)
۵.....	۳-۱ روش پژوهش و مرحله‌های انجام پایان نامه
۲۳.....	۴-۱ تعریف پرش هیدرولیکی
۲۴.....	۵-۱ کاربردهای پرش هیدرولیکی
۲۵.....	۶-۱ معادله مومنتم
۲۶.....	۷-۱ نسبت اعماق مزدوج
۲۷.....	۸-۱ افت انرژی در پرش هیدرولیکی
۲۸.....	۱-۸-۱ افت انرژی
۲۸.....	۲-۸-۱ افت نسبی انرژی
۲۹.....	۹-۱ طول پرش هیدرولیکی
۳۰.....	۱۰-۱ راندمان پرش
۳۱.....	۱۱-۱ نیمرخ سطح آب
۳۱.....	۱۲-۱ پرش‌های هیدرولیکی بر روی سطوح زبر
۳۱.....	۱-۱۲-۱ تنش برشی کف و نسبت عمق ثانویه بر روی سطوح زبر
۳۵.....	۱۳-۱ آنالیز ابعادی
۳۵.....	۱-۱۳-۱ بررسی آنالیز ابعادی عمق ثانویه پرش بر روی سطوح زبر
۳۶.....	۲-۱۳-۱ بررسی آنالیز ابعادی طول پرش و طول منطقه غلظاب بر روی سطوح زبر
۳۷.....	۳-۱۳-۱ بررسی آنالیز ابعادی افت انرژی بر روی سطوح زبر
۳۸.....	فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده
۳۹.....	۱-۲ مقدمه
۳۹.....	۲-۲ پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای زبر و موجدار
۵۵.....	فصل سوم: معرفی آزمایشگاه و نرم‌افزار فلوئنت

۵۶.....	۱-۳ مقدمه
۵۷.....	۲-۳ تجهیزات آزمایشگاهی
۵۷.....	۱-۲-۳ سیستم تأمین آب
۵۸.....	۲-۲-۳ کانال آزمایشگاهی
۵۹.....	۳-۲-۳ کفهای کاذب و زبریها
۵۹.....	۴-۲-۳ سیستمهای اندازه گیری
۵۹.....	۵-۲-۳ سیستم تنظیم و اندازه گیری عمق اولیه و ثانویه پرش
۶۰.....	۶-۲-۳ سیستم اندازه گیری پروفیل سطح پرش
۶۱.....	۷-۲-۳ سیستم اندازه گیری طول پرش و غلطاب
۶۱.....	۸-۲-۳ سیستم اندازه گیری دبی جریان
۶۲.....	۹-۲-۳ سیستم کنترل پرش آبی
۶۲.....	۳-۳ معرفی نرم افزار فلونت
۶۳.....	۱-۳-۳ مدل $k = \varepsilon$ استاندارد
۶۴.....	۲-۳-۳ الگوریتم الگوی پیرو
۶۶.....	۳-۳-۳ نرم افزار فلونت
۶۷.....	۱-۳-۳-۳ قابلیت‌های برنامه
۶۸.....	۲-۳-۳-۳ مراحل حل مساله
۶۹.....	۳-۳-۳-۳ هندسه
۷۰.....	۴-۳-۳-۳ آشنایی با نرم افزار گمبیت
۷۰.....	۵-۳-۳-۳ محاسبه گر یک دفته و محاسبه گر دو دفته
۷۱.....	۶-۳-۳-۳ انتخاب شیوه محاسباتی و فرمولبندی حل
۷۲.....	فصل چهارم: ارائه و بررسی نتایج آزمایشگاهی و شبیه سازی
۷۳.....	۱-۴ مقدمه
۷۳.....	۲-۴ کارهای آزمایشگاهی
۷۵.....	۱-۲-۴ تغییرات نسبت y_2/y_1 به Fr_1
۷۵.....	۱-۱-۲-۴ تأثیر بازشدگی
۷۷.....	۲-۱-۲-۴ تأثیر زبری

- ۳-۱-۲-۴ پارامتر بدون بعد کاهش عمق ثانویه ۸۰
- ۲-۲-۴ بررسی و مقایسه نسبت Fr_1 و L_j/γ_2 ۸۰
- ۱-۲-۲-۴ تأثیر زبری ۸۱
- ۲-۲-۲-۴ تأثیر بازشدگی ۸۳
- ۳-۲-۴ بررسی تأثیر زبری بر روی L_j و γ_2 ۸۵
- ۴-۲-۴ بررسی و مقایسه نسبت Fr_1 و $\Delta E/E_1$ ۸۹
- ۱-۴-۲-۴ تأثیر بازشدگی بر $\Delta E/E_1$ ۸۹
- ۲-۴-۲-۴ تأثیر زبری بر $\Delta E/E_1$ ۹۱
- ۳-۴-۲-۴ پارامتر بدون بعد کاهش افت ۹۴
- ۵-۲-۴ بررسی و مقایسه نسبت $\Delta X/\gamma_{vc}$ و $\Delta E/E_{vc}$ ۹۴
- ۱-۵-۲-۴ تأثیر بازشدگی بر $\Delta X/\gamma_{vc}$ و $\Delta E/E_{vc}$ ۹۵
- ۲-۵-۲-۴ تأثیر زبری بر $\Delta X/\gamma_{vc}$ و $\Delta E/E_{vc}$ ۹۶
- ۳-۵-۲-۴ تحلیل γ_{vc} با بازشدگی ۹۸
- ۶-۲-۴ بررسی و مقایسه نسبت Fr_1 و H_L ۱۰۰
- ۱-۶-۲-۴ تأثیر بازشدگی دریاچه بر روی H_L ۱۰۱
- ۲-۶-۲-۴ تأثیر زبری بر روی H_L ۱۰۲
- ۷-۲-۴ بررسی و مقایسه نسبت Fr_1 و H_T ۱۰۴
- ۱-۷-۲-۴ تأثیر بازشدگی بر روی H_T ۱۰۴
- ۲-۷-۲-۴ تأثیر زبری بر روی H_T ۱۰۵
- ۳-۷-۲-۴ پارامتر بدون بعد کاهش افت کل (H_T) ۱۰۷
- ۸-۲-۴ بررسی و مقایسه نسبت Fr_1 و L_r/γ_2 ۱۰۷
- ۱-۸-۲-۴ تأثیر زبری بر L_r/γ_2 ۱۰۸
- ۲-۸-۲-۴ تأثیر بازشدگی دریاچه بر نسبت L_r/γ_2 ۱۰۹
- ۹-۲-۴ ضریب تنش برشی ۱۱۰
- ۱۰-۲-۴ مقایسه پروفیل سطح آب با استفاده از نرم افزار (Getdata) ۱۱۳
- ۳-۴ شبیه سازی عددی پرش با استفاده از نرم افزار فلوئنت ۱۱۵
- ۱-۳-۴ مدل آزمایشگاهی مورد استفاده ۱۱۵

۱۱۶.....	۲-۳-۴ شبیه سازی پرش هیدرولیکی در کانال افقی با بستر زیر
۱۱۶.....	۳-۳-۴ شرایط مرزی
۱۱۸.....	۴-۳-۴ سایر پارامترهای در نظر گرفته شده
۱۱۸.....	۵-۳-۴ پروفیل سطح آب
۱۲۱.....	۶-۳-۴ تغییرات سرعت در محل y_1 و y_2
۱۲۳.....	فصل پنجم: جمع بندی نتایج و پیشنهادات
۱۲۴.....	۱-۵ نتایج
۱۲۴.....	۱-۱-۵ عمق ثانویه
۱۲۵.....	۲-۱-۵ نسبت L_j/y_2
۱۲۵.....	۳-۱-۵ افت انرژی قبل از پرش
۱۲۵.....	۴-۱-۵ افت انرژی در محل y_{vc}
۱۲۵.....	۵-۱-۵ افت انرژی بین مخزن و محل $y_1(H_L)$
۱۲۶.....	۶-۱-۵ افت انرژی بین مخزن و محل $y_2(H_T)$
۱۲۶.....	۷-۱-۵ طول پرش غلطاب
۱۲۶.....	۸-۲-۵ تنش برشی کف
۱۲۷.....	۹-۱-۵ نرم افزار
۱۲۷.....	۲-۵ پیشنهادات
۱۲۹.....	مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: پرش هیدرولیکی در بستر صاف (a) و زیر (b) ۲۰
- شکل ۱-۲: نمای ظاهری پرش هیدرولیکی در یک آبراهه افقی [۳] ۲۳
- شکل ۱-۳: شکل توصیفی برای معادله عمومی مومنتم ۲۵
- شکل ۱-۴: طول پرش هیدرولیکی در کانال مستطیلی مستقیم [۲۲] ۳۰
- شکل ۱-۵: حجم کنترل در حد فاصل مقاطع ۱ و ۲ [۳] ۳۲
- شکل ۱-۲: رابطه بین Fr_1 و L_j/γ_1 برای L_R/h_b مختلف [۱۹] ۴۲
- شکل ۲-۲: رابطه بین L_R/h_b و L_j/γ_1 برای مقادیر مختلف Fr_1 [۱۹] ۴۲
- شکل ۲-۳: رابطه بین طول نسبی پرش روی بسترهای صاف و زیر برای مقادیر مختلف Fr_1 [۱۹] ۴۳
- شکل ۲-۴: درصد کاهش در طول پرش با استفاده از زبری بستر [۱۹] ۴۴
- شکل ۲-۵: تغییرات γ_2/γ_1 با عدد فرود اولیه Fr_1 [۸] ۴۵
- شکل ۲-۶: تغییرات طول نسبی غلطنده نسبت به عدد فرود اولیه Fr_1 [۸] ۴۶
- شکل ۲-۷: تغییرات طول نسبی پرش نسبت به عدد فرود اولیه Fr_1 [۸] ۴۶
- شکل ۲-۸: تغییرات ضریب تنش برشی کف نسبت به عدد فرود اولیه Fr_1 [۸] ۴۷
- شکل ۲-۹: تغییرات نسبت عمق ثانویه با عدد فرود [۱۶] ۴۷
- شکل ۲-۱۰: تغییرات طول نسبی پرش نسبت به عدد فرود اولیه Fr_1 [۱۶] ۴۸
- شکل ۲-۱۱: تغییرات ضریب تنش برشی کف نسبت به عدد فرود اولیه Fr_1 [۱۶] ۴۹
- شکل ۲-۱۲: بسترهای موجدار بکار رفته در تحقیق Ead [۹] ۵۰
- شکل ۲-۱۳: تغییرات نسبت عمق ثانویه با عدد فرود [۹] ۵۱
- شکل ۲-۱۴: تغییرات فاکتور کاهش عمق D با عدد فرود [۹] ۵۲
- شکل ۲-۱۵: تغییرات طول پرش بی بعد شده L_j/γ_2^* با عدد فرود [۹] ۵۲
- شکل ۲-۱۶: تغییرات ضریب تنش برشی بستر با عدد فرود [۹] ۵۴
- شکل ۲-۱۷: پروفیل های سطح آب برای آزمایش های سری B بر روی بستر با موجهای دوزنقه ای [۹] ۵۴
- شکل ۲-۱۸: پروفیل های بی بعد شده سطح آب برای آزمایش های سری B بر روی بستر با موجهای دوزنقه ای [۹] ۵۴
- شکل ۳-۱: نما (a) و (b) پلان فلوم مورد استفاده در آزمایشگاه ۵۷
- شکل ۳-۲: کانال مورد استفاده در آزمایشگاه ۵۸
- شکل ۳-۳: بسترهای زیر مورد آزمایش ۶۳
- شکل ۳-۴: نمای پرش هنگام عبور از روی بسترشیشه ای و برخورد با بستر زیر ۶۰
- شکل ۳-۵: نمایی از عمق سنج ۶۳
- شکل ۳-۶: نمای پروفیل سطح آب هنگام عبور از روی بستر زیر ۶۰
- شکل ۳-۷: نمودار دبی اشل ۶۲
- شکل ۳-۸: نمای سرریز انتهای کانال ۶۲
- شکل ۳-۹: انواع سلول های قابل انتقال توسط نرم افزار [۴] ۶۹

- شکل ۴-۱: نحوه برداشت عمق نسبت به سطح مینا [۲۶]..... ۵۸
- شکل ۴-۲: مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی بستر زبر [۲۶]..... ۷۴
- شکل ۴-۳: مقایسه نسبت y_2/y_1 در بازشدگی های ۱، ۱/۵ و ۲ سانتی متر (بازشدگی $C_3=2cm, C_2=1.5cm, C_1=1cm$)..... ۷۶
- شکل ۴-۴: مقایسه نسبت y_2/y_1 در بازشدگی های ۱، ۱/۵ و ۲ سانتی متر (بازشدگی $B_3=2cm, B_2=1.5cm, B_1=1cm$)..... ۷۷
- شکل ۴-۵: مقایسه نسبت y_2/y_1 در زبری های مختلف و بازشدگی ۱ سانتی متر..... ۷۸
- شکل ۴-۶: مقایسه نسبت y_2/y_1 در زبری های مختلف و بازشدگی ۱/۵ سانتی متر..... ۷۸
- شکل ۴-۷: مقایسه نسبت y_2/y_1 در زبری های مختلف و بازشدگی ۲ سانتی متر..... ۷۸
- شکل ۴-۸: مقایسه نسبت L_j/y_2 در زبری های مختلف و بازشدگی ۱ سانتی متر..... ۸۱
- شکل ۴-۹: مقایسه نسبت L_j/y_2 در زبری های مختلف و بازشدگی ۱/۵ سانتی متر..... ۸۱
- شکل ۴-۱۰: مقایسه نسبت L_j/y_2 در زبری های مختلف و بازشدگی ۲ سانتی متر..... ۸۲
- شکل ۴-۱۱: مقایسه نسبت L_j/y_2 در بازشدگی های مختلف (بازشدگی $B_3=2cm, B_2=1.5cm, B_1=1cm$)..... ۸۳
- شکل ۴-۱۲: مقایسه نسبت L_j/y_2 در بازشدگی های مختلف (بازشدگی $C_3=2cm, C_2=1.5cm, C_1=1cm$)..... ۸۳
- شکل ۴-۱۳: مقایسه نسبت L_j/y_2 بین بستر A_1 و B_1 ۷۳
- شکل ۴-۱۴: مقایسه نسبت L_j/y_2 بین بستر A_2 و B_2 ۷۳
- شکل ۴-۱۵: مقایسه نسبت L_j/y_2 بین بستر A_1 و C_1 ۷۳
- شکل ۴-۱۶: مقایسه نسبت L_j/y_2 بین بستر A_3 و B_3 ۷۳
- شکل ۴-۱۷: مقایسه نسبت L_j/y_2 بین بستر A_2 و C_2 ۷۳
- شکل ۴-۱۸: مقایسه نسبت L_j/y_2 بین بستر A_3 و C_3 ۸۵
- شکل ۴-۱۹: مقایسه نسبت y_2 در زبری های مختلف و بازشدگی ۱ سانتی متر..... ۸۶
- شکل ۴-۲۰: مقایسه نسبت L_j در زبری های مختلف و بازشدگی ۱ سانتی متر..... ۸۶
- شکل ۴-۲۱: مقایسه نسبت L_j در زبری های مختلف و بازشدگی ۱/۵ سانتی متر..... ۸۷
- شکل ۴-۲۲: مقایسه نسبت y_2 در زبری های مختلف و بازشدگی ۱/۵ سانتی متر..... ۸۷
- شکل ۴-۲۳: مقایسه نسبت L_j در زبری های مختلف و بازشدگی ۲ سانتی متر..... ۸۸
- شکل ۴-۲۴: مقایسه نسبت L_j در زبری های مختلف و بازشدگی ۲ سانتی متر..... ۸۸
- شکل ۴-۲۵: مقایسه نسبت $\Delta E/E_1$ در بازشدگی های مختلف و زبری ۳/۵ میلی متر..... ۹۰
- شکل ۴-۲۶: مقایسه نسبت $\Delta E/E_1$ در بازشدگی های مختلف و زبری ۱۱ میلی متر..... ۹۱
- شکل ۴-۲۷: مقایسه نسبت $\Delta E/E_1$ در زبری های مختلف و بازشدگی ۱ سانتی متر..... ۹۲
- شکل ۴-۲۸: مقایسه نسبت $\Delta E/E_1$ در زبری های مختلف و بازشدگی ۱/۵ سانتی متر..... ۹۳
- شکل ۴-۲۹: مقایسه نسبت $\Delta E/E_1$ در زبری های مختلف و بازشدگی ۲ سانتی متر..... ۹۳
- شکل ۴-۳۰: مقایسه نسبت $\Delta E/E_1$ بین A_1 و B_1 ۸۲
- شکل ۴-۳۱: مقایسه نسبت $\Delta E/E_1$ بین A_2 و B_2 ۹۳
- شکل ۴-۳۲: محل برداشت y_{VC} و y_1 [۱۰]..... ۹۵
- شکل ۴-۳۳: مقایسه نسبت $\Delta E/E_{VC}$ در بازشدگی های مختلف و زبری ۳/۵ میلی متر..... ۹۵
- شکل ۴-۳۴: مقایسه نسبت $\Delta E/E_{VC}$ در بازشدگی های مختلف و زبری ۱۱ میلی متر..... ۹۶

- شکل ۴-۳۵: مقایسه نسبت $\Delta E/E_{VC}$ در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۱ سانتی‌متر..... ۹۶
- شکل ۴-۳۶: مقایسه نسبت $\Delta E/E_{VC}$ در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۱/۵ سانتی‌متر..... ۹۷
- شکل ۴-۳۷: مقایسه نسبت $\Delta E/E_{VC}$ در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۲ سانتی‌متر..... ۹۷
- شکل ۴-۳۸: مقایسه مقادیر y_{VC} در بستر A ۸۶
- شکل ۴-۳۹: مقایسه مقادیر X_{VC} در بستر B ۹۸
- شکل ۴-۴۰: صحت سنجی رابطه (۴-۶۰)..... ۹۹
- شکل ۴-۴۱: صحت سنجی رابطه (۴-۶۳) در بستر B_1 و B_2 و B_3 ۹۹
- شکل ۴-۴۲: مقایسه E_{VC} با انرژی معادل بازشدگی در بستر (B_1)..... ۱۰۰
- شکل ۴-۴۳: مقایسه نسبت H_L در بازشدگی‌های مختلف..... ۱۰۱
- شکل ۴-۴۴: مقایسه نسبت H_L در بستر C با بازشدگی‌های مختلف و مقایسه با A_3 ۱۰۲
- شکل ۴-۴۵: مقایسه نسبت H_L در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۱ سانتی‌متر..... ۱۰۳
- شکل ۴-۴۶: مقایسه نسبت H_L در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۱/۵ سانتی‌متر..... ۱۰۳
- شکل ۴-۴۷: مقایسه نسبت H_L در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۲ سانتی‌متر..... ۱۰۴
- شکل ۴-۴۸: مقایسه نسبت H_T در بازشدگی‌های مختلف بستر B ۱۰۵
- شکل ۴-۴۹: مقایسه نسبت H_T در بازشدگی‌های مختلف بستر C ۱۰۵
- شکل ۴-۵۰: مقایسه نسبت H_T در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۱ سانتی‌متر..... ۱۰۶
- شکل ۴-۵۱: مقایسه نسبت H_T در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۱/۵ سانتی‌متر..... ۱۰۶
- شکل ۴-۵۲: مقایسه نسبت H_T در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۲ سانتی‌متر..... ۱۰۶
- شکل ۴-۵۳: مقایسه نسبت L_r/y_2 در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۱ سانتی‌متر..... ۱۰۸
- شکل ۴-۵۴: مقایسه نسبت L_r/y_2 در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۱/۵ سانتی‌متر..... ۱۰۸
- شکل ۴-۵۵: مقایسه نسبت L_r/y_2 در زبری‌های مختلف و بازشدگی ۲ سانتی‌متر..... ۱۰۹
- شکل ۴-۵۶: مقایسه نسبت L_r/y_2 در بازشدگی‌های مختلف و زبری ۳/۵ میلی‌متر..... ۱۰۹
- شکل ۴-۵۷: مقایسه نسبت L_r/y_2 در بازشدگی‌های مختلف و زبری ۱۱ میلی‌متر..... ۱۱۰
- شکل ۴-۵۸: مقایسه تغییرات ضریب تنش برشی کف (ε) برای زبری ۳/۵ میلی‌متر و بازشدگی‌های مختلف با بستر صاف..... ۱۱۱
- شکل ۴-۵۹: مقایسه تغییرات ضریب تنش برشی کف (ε) برای زبری ۱۱ میلی‌متر و بازشدگی‌های مختلف با بستر صاف..... ۱۱۱
- شکل ۴-۶۰: مقایسه تغییرات ضریب تنش برشی کف (ε) برای زبری‌های ۳/۵ و ۱۱ میلی‌متر و بازشدگی‌های مختلف با بستر صاف..... ۱۱۲
- شکل ۴-۶۱: مقایسه تغییرات ضریب تنش برشی کف (ε) برای زبری‌های مختلف و بازشدگی‌های ۱ سانتی‌متر با بستر صاف..... ۱۱۲
- شکل ۴-۶۲: مقایسه تغییرات ضریب تنش برشی کف (ε) برای زبری‌های مختلف و بازشدگی‌های ۱/۵ سانتی‌متر با بستر صاف..... ۱۱۲
- شکل ۴-۶۳: مقایسه تغییرات ضریب تنش برشی کف (ε) برای زبری‌های مختلف و بازشدگی‌های ۲ سانتی‌متر با بستر صاف..... ۱۱۳
- شکل ۴-۶۴: مقایسه پروفیل سطح آب در بستر B_3 برای اعداد فرود مختلف..... ۱۱۳
- شکل ۴-۶۵: مقایسه پروفیل سطح آب در بستر C_3 برای اعداد فرود مختلف..... ۱۱۴
- شکل ۴-۶۶: مقایسه پروفیل بی بعد شده سطح آب در بستر B_3 ۱۱۴
- شکل ۴-۶۷: مقایسه پروفیل بی بعد شده سطح آب در بستر C_3 ۱۱۵
- شکل ۴-۶۸: هندسه مساله و مشبندی..... ۱۱۶

- شکل ۴-۶۹: شرایط مرزی در نمونه فلوئنت ۱۱۷
- شکل ۴-۷۰: شرایط مرزی اعمال شده جهت شبیه‌سازی نرم‌افزاری ۱۱۷
- شکل ۴-۷۱: نمای پرش هیدرولیکی در نرم‌افزار فلوئنت (بستر B_1 با هد $139/5$ سانتی‌متر) ۱۱۸
- شکل ۴-۷۲: مقایسه پروفیل سطح آب در بستر B_1 ۱۱۹
- شکل ۴-۷۳: عکس گرفته شده از نمونه‌ی آزمایشگاهی (بستر B_1) ۱۱۹
- شکل ۴-۷۴: نمای پرش هیدرولیکی در نرم‌افزار فلوئنت (بستر B_3) ۱۱۹
- شکل ۴-۷۵: مقایسه پروفیل سطح آب در بستر B_3 ۱۲۰
- شکل ۴-۷۶: عکس گرفته شده از نمونه‌ی آزمایشگاهی (بستر B_3) ۱۲۰
- شکل ۴-۷۷: پروفیل سطح آب در فلوئنت (بستر B_3) ۱۲۰
- شکل ۴-۷۸: تغییرات سرعت در محل y_1 و y_2 (بستر B_1) ۱۲۱
- شکل ۴-۷۹: مقایسه تغییرات سرعت در محل y_1 و y_2 و 4 متری کانال (بستر B_1) ۱۲۲
- شکل ۴-۸۰: تغییرات سرعت در محل y_1 و y_2 (بستر B_3) ۱۲۲
- شکل ۴-۸۱: مقایسه تغییرات سرعت در محل y_1 و y_2 و 4 متری کانال (بستر B_3) ۱۲۲

فهرست جداول

جدول ۳-۱: ضرائب ثابت برای معادلات $k - \varepsilon$ استاندارد.....	۶۴
جدول ۴-۱: مشخصات بسترهای مورد استفاده.....	۷۵
جدول ۴-۲: مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر D	۸۰
جدول ۴-۳: مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر D_4 برای افت کل (H_T)	۱۰۷
جدول ۴-۴: مشخصات بسترهای مدل شده.....	۱۱۵
جدول ۴-۵: مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی بستر B_3	۱۲۱
جدول ۴-۶: مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی بستر B_1	۱۲۱

فصل اول: تعاریف کلی

۱-۱ مقدمه

متداولترین روش برای استهلاک انرژی سینماتیک آب در پایین دست سرریزها، دریچه‌ها و تنداب‌ها استفاده از پرش هیدرولیکی است. پرش هیدرولیکی یک جریان متغیر سریع در جریان‌های روباز بین حالت فوق بحرانی و حالت زیر بحرانی می‌باشد. به منظور کنترل پرش در پایین‌دست سازه‌های یاد شده نیاز به احداث حوضچه آرامش می‌باشد تا تمام یا قسمتی از پرش هیدرولیکی در آن رخ دهد.

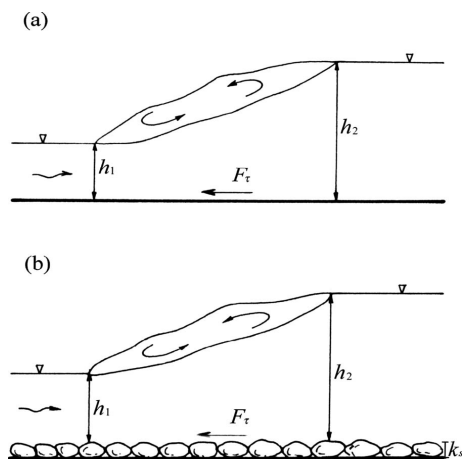
حوضچه آرامش قسمت کوتاهی از یک آبراهه کف سازی شده می‌تواند پرش هیدرولیکی را مهار و طول پرش را کاهش دهد و انرژی جنبشی آب را به انرژی حرارتی تبدیل کند. جهت کاهش ابعاد حوضچه اقداماتی چون ساخت بلوک‌های پای شوت و یا بلوک‌های میانی به منظور اتلاف بیشتر انرژی جنبشی در محدوده پرش می‌باشد. از آنجا که بلوک‌ها مستقیماً در معرض جریان یا انرژی بالا هستند نیاز به پایداری زیادی دارند که این امر موجب می‌شود تا ابعاد آنها بزرگ و در مواقعی در معرض کاویتاسیون قرار گیرند.

یکی از روش‌هایی که می‌تواند جایگزین بلوک‌ها شود استفاده از زبری کف می‌باشد. وجود زبری کف سبب می‌شود که در یک حجم کنترل مقدار مومنتم ورودی و خروجی برابر نبوده و مومنتوم خروجی به اندازه نیروی مقاومتی زبری‌ها کمتر از مومنتوم ورودی شود.

عمده تحقیقات در رابطه با موضوع پرش هیدرولیکی روی بسترهای صاف یا زبری‌های منفصل صورت گرفته در حالی که مطالعه روی زبری‌های متراکم و درشت دانه بسیار محدود می‌باشد. در اکثر پژوهش‌ها محل تشکیل پرش هیدرولیکی در مرز سطح صاف و زبر می‌باشد. در مطالعه‌ی حاضر جریان ضمن عبور از بستر شیشه‌ای وارد بستر زبر شده و محل شروع پرش در فاصله ۲۰ سانتی متری از شروع زبری در نظر گرفته شده است. کلیه‌ی آزمایشات برای بسترهایی با دانه بندی $d_{50} = 3.5, 11mm$ و بستر صاف انجام گرفته است.

همچنین برای هر بستر دریچه در فواصل ۱، ۱/۵ و ۲ سانتی متری از تاج زبری قرار می‌گیرد و در هر بازشدگی تعداد ۱۰ عدد فرود مورد بررسی قرار می‌گیرد.

از جمله مواردی که تا کنون بدان پرداخته نشده، مسأله افت انرژی قبل از پرش و تغییرات افت در اثر انتقال پرش به سمت پایین دست کانال می باشد که در مطالعه ی حاضر مورد بررسی قرار می گیرد. در تمامی مطالعات انجام شده در زمینه پرش، محدوده ی اعداد فرود بزرگتر از ۴ بوده اما از آنجا که اعداد فرود کمتر از ۴ در معادله ی بلانگر صدق نمی کند این محدوده ی اعداد فرود نیز بررسی شده است. در ادامه فرمولهای طول نسبی غلطاب، طول نسبی پرش، افت انرژی، نسبت اعماق مزدوج و پارامتر تنش برشی بستر استخراج شده و روند تغییرات عمق y_1 و زبری نسبی روی اعماق مزدوج و افت انرژی بررسی می شود. در نهایت مدل نرم افزاری پرش با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می شود.



شکل ۱-۱: پرش هیدرولیکی در بستر صاف (a) و زبر (b)

اکثر مطالعات انجام شده در مورد بستر زبر در ارتباط با زبری های پراکنده و مصنوعی می باشند که در ادامه به برخی از این موارد به اختصار پرداخته می شود.

Hughes و *Flack* در سال ۱۹۸۴، برای اعداد فرود ۳-۹ و برای زبری های میله ای مربعی شکل موازی که عمود بر جهت جریان قرار داشتند، ۵ حالت بستر را بررسی کردند و رابطه ای برای محاسبه طول نسبی پرش ارائه نمودند.

Mohamed Ali در سال ۱۹۹۱، برای آزمایشات خود از زبری های به شکل مکعب به ابعاد $1/6 * 1/6 * 1/6$ سانتیمتر در کف کانال استفاده کرد. ابعاد زبری ها طوری انتخاب شدند که کوچکتر از عمق آب ورودی به