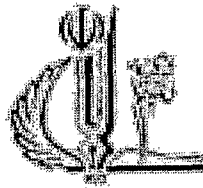




۱۲۰۱۷۹ - ۹۰۰۹۶۸



دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی آب

رساله

برای دریافت درجه دکتری در رشته سازه های آبی

عنوان

بررسی تجربی و شبیه سازی عددی پرش هیدرولیکی بر روی بستر
موج دار با استفاده از مدل آشفتگی k-ε

استادان راهنما

دکتر داود فرسادی زاده دکتر علی حسین زاده دلیر

استاد مشاور

دکتر سید علی اشرف صدرالدینی

پژوهشگر

اکرم عباسپور

شماره: ۲- ۱۳۸۸

آذر ۸۸

انجمن نشریات دانشکده مهندسی آب
شیراز

۱۳۸۸/۱۰/۲۷

۱۳۰۱۷۶

تقدیم به :

پدر و مادر بزرگوارم

همسر فداکارم

و

فرزند دلبندم پارسا

تقدیر و تشکر

اکنون که به یاری خداوند متعال این تحقیق به پایان رسیده است لازم می دانم از تمام کسانی که در این تحقیق بنده را یاری نموده اند تشکر و قدردانی نمایم.

از خانواده خوب و مهربانم، برادر عزیزم دکتر مقصود عباسپور که همواره مشوق تحصیلی ام بوده اند تشکر و قدردانی می نمایم.

از همسر فداکارم که در طول دوره تحصیل صبورانه مشکلات این راه را برایم حل نموده کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از اساتید راهنمای این تحقیق آقایان دکتر داود فرسادی زاده و دکتر علی حسین زاده دلیر که همواره از راهنمایی های علمی شان بهره جسته ام و زحمات فراوانی در انجام این رساله متحمل شده اند تشکر و قدردانی می نمایم.

از زحمات استاد مشاور ارجمندم آقای دکتر علی اشرف صدر الدینی تشکر و قدردانی می نمایم. از داوران محترم این رساله آقایان دکتر محمود شفاعی بجنستان، دکتر یوسف حسن زاده و دکتر امیر حسین ناظمی سپاسگزاری می نمایم.

از دوستان و همکاران گرانقدرم خانم ها دکتر دربندی، مهندس شیبانی، مهندس موسوی و مهندس اکبریان و آقایان دکتر سلماسی، دکتر قربانی، دکتر ارونقی، دکتر ستاری، دکتر دلیر حسن نیا، مهندس اسدی، مهندس مولوی، مهندس رئوف، مهندس ملک پور، مهندس بشارت، مهندس مجنونی و مهندس مهتابی کمال تشکر را دارم.

نام خانوادگی دانشجو: عباسپور	نام: اکرم
عنوان رساله: بررسی تجربی و شبیه سازی عددی پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار با استفاده از مدل آشفتگی $k-\varepsilon$	
استادان راهنما: داود فرسادی زاده و علی حسین زاده دلیر	
استاد مشاور: سید علی اشرف صدرالدینی	
مقطع تحصیلی: دکترا رشته: مهندسی آب گرایش: سازه های آبی دانشگاه: تبریز	
دانشکده: کشاورزی تاریخ فارغ التحصیلی: آذر ۸۸ تعداد صفحه: ۱۵۸	
کلید واژه ها: بستر موج دار، پرش هیدرولیکی، جزء حجم سیال VOF، عدد فرود و مدل های آشفتگی $k-\varepsilon$	
<p>چکیده</p> <p>پرش هیدرولیکی برای استهلاک انرژی در پایین دست سازه های هیدرولیکی از جمله سرریزها، تندآب ها و دریچه ها مورد استفاده قرار می گیرد. بررسی محققین نشان می دهد که بستر موج دار در کاهش عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی مؤثر می باشد. در این تحقیق بررسی تجربی پرش هیدرولیکی در محدوده وسیع تری نسبت به محققین دیگر بر روی ۶ نوع بستر موج دار با شیب موج (t/s) مختلف انجام گرفت. شیب موج در محدوده ۰/۲۸۶ تا ۰/۶۲۵ و عدد فرود در محدوده ۳/۸ تا ۸/۶ قرار داشت. تأثیر ارتفاع و طول موج بستر موج دار بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی در اعداد فرود مختلف با تحلیل موقعیت سطح آب، پروفیل سرعت، تنش برشی بستر و استهلاک انرژی بررسی شد. پارامتر های بی بعد هیدرولیکی نیز به صورت تابعی از عدد فرود تعیین گردید. نتایج تحقیق نشان داد که عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موج دار نسبت به بستر صاف در شرایط هیدرولیکی یکسان کوچکتر است. بررسی پروفیل های سرعت اندازه گیری شده در مقاطع مختلف پرش هیدرولیکی نشان داد که این پروفیل ها مشابه بوده و با پروفیل جت</p>	

آب بر روی بستر صاف متفاوت می باشند. همچنین مقدار ضخامت لایه مرزی بی بعد δ/b بر روی بستر موج دار برابر $0/57$ به دست آمد که با ضخامت لایه مرزی در بستر صاف برابر $0/16$ مقایسه گردید. بررسی و مقایسه نیروی برشی F_p و ضریب تنش برشی ε نشان داد که تنش برشی در بستر موج دار حداقل 10 برابر بستر صاف است. بررسی ها نشان داد که مقدار متوسط ضریب اصطکاک C_f در بسترهای موج دار برابر $0/06$ می باشد. در تحقیقات انجام گرفته پرش بر روی بسترهای صاف مقدار ضریب اصطکاک متوسط C_f برابر $0/004$ گزارش شده است

پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار متلاطم بوده و با اختلاط آب و هوا همراه می باشد. در این تحقیق پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار با استفاده از مدل های آشفتگی $k-\varepsilon$ استاندارد، $k-\varepsilon$ RNG و RSM بصورت دو بعدی شبیه سازی شد و سطح آزاد جریان با روش عددی جزء حجم سیال VOF تعیین گردید. نتایج نشان داد که مدل های آشفتگی $k-\varepsilon$ و روش جزء حجم سیال VOF برای پیش بینی پروفیل سطح آب در پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار مناسب بوده و خطای نسبی متوسط مقادیر سطح آب بدست آمده از مدل های عددی و اندازه گیری شده کمتر از 10 درصد می باشد. بررسی تشابه پروفیل های سرعت در فواصل مختلف پرش هیدرولیکی نشان داد توزیع سرعت در آزمون های مختلف یکسان بوده و نتایج بدست آمده از مدل های عددی و داده های تجربی تطابق خوبی دارند. تأثیر بستر موج دار بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی در اعداد فرود مختلف با محاسبه موقعیت سطح آب، پروفیل سرعت، بردار سرعت، تنش برشی بستر، شدت های تلاطم، انرژی جنبشی و اتلاف انرژی پرش در این مدل مورد بررسی قرار گرفت.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	
۱- مقدمه و بررسی منابع	
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- مشخصات پرش هیدرولیکی.....	۳
۳-۱- انواع پرش هیدرولیکی.....	۳
۴-۱- حوضچه آرامش پرش هیدرولیکی.....	۴
۵-۱- پرش هیدرولیکی در بستر های صاف.....	۵
۱-۵-۱- پروفیل های سرعت در پرش هیدرولیکی.....	۹
۲-۵-۱- غلظت هوا در پرش هیدرولیکی.....	۱۰
۳-۵-۱- مکانیزم استهلاك انرژی.....	۱۱
۶-۱- پرش هیدرولیکی در بستر های زبر.....	۱۳
۱-۶-۱- حوضچه آرامش با آبپایه.....	۱۳
۲-۶-۱- حوضچه با بافل بلوک.....	۱۴
۳-۶-۱- تغییرات فشار های مرزی.....	۱۹
۴-۶-۱- کاویتاسیون در حوضچه آرامش.....	۲۰
۵-۶-۱- طول بهینه زبری در حوض چه آرامش.....	۲۰
۷-۱- شبیه سازی پرش هیدرولیکی با روش تفاضلات محدود.....	۲۴
۸-۱- شبیه سازی پرش هیدرولیکی با روش المان محدود.....	۲۶
۹-۱- شبیه سازی پرش هیدرولیکی با مدل های آشفتگی.....	۲۸
۱۰-۱- ساختار تلاطمی در پرش هیدرولیکی.....	۳۶
۱۱-۱- پرش هیدرولیکی روی بستر موج دار.....	۴۱
۱۲-۱- اصول تئوری و پایه های تحقیق.....	۵۳

۵۳	۱-۱۲-۱- دینامیک سیالات محاسباتی.....
۵۵	۲-۱۲-۱- معادلات حاکم.....
۵۷	۳-۱۲-۱- مدل های تلاطم.....
۵۸	۱-۳-۱۲-۱- معادلات انتقال در مدل تلاطم $k-\varepsilon$ استاندارد.....
۵۹	۲-۳-۱۲-۱- معادلات انتقال در مدل تلاطم RNG $k-\varepsilon$
۶۰	۳-۳-۱۲-۱- معادلات انتقال در مدل تلاطم RSM.....
۶۱	۴-۱۲-۱- روش های اولری- اولری.....
۶۱	۱-۴-۱۲-۱- مدل جزء حجم سیال VOF.....
۶۲	۲-۴-۱۲-۱- مدل مخلوط.....
۶۳	۳-۴-۱۲-۱- روش باز سازی هندسی در سطح مشترک دو سیال.....
۶۴	۱۳-۱- اهداف تحقیق.....

فصل دوم

۲- مواد و روش ها

۶۶	۱-۲- مقدمه.....
۶۷	۲-۲- بررسی تجربی پرش هیدرولیکی.....
۶۷	۱-۲-۲- تجهیزات آزمایشگاهی.....
۶۷	۱-۱-۲-۲- فلوم.....
۶۸	۲-۱-۲-۲- مدل بستر موج دار.....
۶۹	۳-۱-۲-۲- وسایل اندازه گیری جریان.....
۶۹	۴-۱-۲-۲- حس گر های التراسونیک.....
۷۰	۵-۱-۲-۲- عمق یاب.....
۷۰	۶-۱-۲-۲- سرعت سنج.....
۷۰	۷-۱-۲-۲- اشل اندازه گیری طول پرش.....

۷۱	۲-۱-۸- دریاچه متحرک انتهائی فلوم.....
۷۱	۲-۲-۲- روش آزمایش.....
۷۷	۲-۳-۲- تحلیل ابعادی.....
۷۹	۲-۴-۲- مدل رگراسیون خطی چند گانه.....
۸۰	۲-۳-۳- بررسی عددی پرش هیدرولیکی.....
۸۰	۲-۳-۱- شبکه بندی محدوده جریان.....
۸۲	۲-۳-۲- روش حجم محدود.....
۸۳	۲-۳-۳- بهینه سازی شبکه.....
۸۳	۲-۳-۴- انتخاب روش محاسباتی.....
۸۶	۲-۳-۵- معادلات اساسی تلاطم و فازهای جریان.....
۸۷	۲-۳-۶- تعریف شرایط مرزی و اولیه جریان.....
۸۸	۲-۳-۷- تعریف خواص فیزیکی مواد و فشار کارکرد.....
۸۸	۲-۳-۸- حدس اولیه میدان جریان.....
۸۸	۲-۳-۹- انجام محاسبات جریان.....
۸۹	۲-۳-۱۰- فرایند عملیاتی مدل.....
۹۱	۲-۳-۱۱- ایجاد فایل ورودی و خروجی.....
۹۱	۲-۳-۱۲- تطبیق و بهینه سازی.....
۹۲	۲-۳-۱۳- تولید تصاویر و نمودارها و تهیه گزارش از حل.....
۹۳	۲-۴-۴- ساختار تلاطمی پرش هیدرولیکی.....
۹۳	۲-۴-۱- انرژی جنبشی تلاطم.....
۹۴	۲-۴-۲- مدل نرخ استهلاك انرژی.....
۹۵	۲-۴-۳- انتشار تلاطم.....
۹۵	۲-۵-۵- شاخص های ارزیابی مدل شبیه سازی عددی.....

۶-۲-۶- واسنجی و صحت سنجی مدل ۹۶

فصل سوم

۳- نتایج و بحث

۱-۳-۱- مقدمه	۹۷
۲-۳-۲- نتایج بررسی تجربی پرش هیدرولیکی	۹۸
۱-۲-۳- داده های تجربی	۹۸
۲-۲-۳- پروفیل های سطح آب	۹۸
۳-۲-۳- نسبت عمق ثانویه به عمق اولیه پرش	۱۰۱
۴-۲-۳- طول نسبی پرش هیدرولیکی	۱۰۴
۵-۲-۳- اتلاف انرژی	۱۰۵
۶-۲-۳- پروفیل های سرعت	۱۰۶
۷-۲-۳- تنش برشی بستر	۱۱۳
۳-۳-۳- بررسی مدل رگراسیون خطی چند گانه	۱۱۵
۴-۳-۴- نتایج مدل شبیه سازی عددی پرش هیدرولیکی	۱۱۶
۱-۴-۳- واسنجی و صحت سنجی مدل شبیه سازی	۱۱۷
۲-۴-۳- پروفیل های سطح آب	۱۱۹
۳-۴-۳- طول پرش هیدرولیکی	۱۲۳
۴-۴-۳- پروفیل های سرعت	۱۲۴
۵-۴-۳- تنش برشی بستر	۱۳۰
۵-۳-۵- ساختار تلاطمی پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار	۱۳۲
۱-۵-۳- توزیع سرعت های جریان	۱۳۲
۲-۵-۳- توزیع شدت های تلاطم و تنش های رینولدزی	۱۳۳
۳-۵-۳- توزیع انرژی جنبشی تلاطم	۱۳۸

۳-۴-۵-۴-اتلاف انرژی جنبشی تلاطم ۱۴۰

نتیجه گیری و پیشنهادات

الف- جمع بندی نتایج بررسی تجربی پرش هیدرولیکی ۱۴۴
 ب- جمع بندی نتایج شبیه سازی عددی پرش هیدرولیکی ۱۴۷
 پیشنهادات ۱۵۲
 منابع مورد استفاده ۱۵۴

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- مشخصات فیزیکی بسترهای موج دار.....	۶۹
جدول ۲-۲- مشخصات پرش هیدرولیکی در آزمون های انجام شده بر روی بسترهای موج دار.....	۷۴
جدول ۱-۳- ضرایب معادله رگرسیون خطی کاهش عمق نسبی.....	۱۱۶
جدول ۲-۳- ضرایب معادله رگرسیون خطی استهلاك انرژی.....	۱۱۶
جدول ۳-۳- خطای واسنجی مدل شبیه سازی برای عمق های جریان در آزمون های مختلف.....	۱۱۸
جدول ۴-۳- خطای واسنجی مدل شبیه سازی برای سرعت های جریان در آزمون های مختلف.....	۱۱۸
جدول ۵-۳- خطای صحت سنجی مدل شبیه سازی برای عمق های جریان در آزمون های مختلف.....	۱۱۹
جدول ۶-۳- خطای صحت سنجی مدل شبیه سازی برای سرعت های جریان در آزمون های مختلف.....	۱۱۹
جدول ۷-۳- خطای مدل های آشفستگی برای شبیه سازی پروفیل های سطح آب در آزمون های مختلف.....	۱۲۲

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- انواع پرش هیدرولیکی در بستر صاف.....	۴

- شکل ۱-۲- پرش هیدرولیکی بر روی بستر صاف ۶
- شکل ۱-۳- جت فواره افقی آب ۸
- شکل ۱-۴- رابطه بین $\frac{L_f}{h_1}$ و $\frac{L_R}{h_b}$ به ازای مقادیر مختلف Fr_1 ۱۸
- شکل ۱-۵- مقایسه طول نسبی پرش $\frac{L_f}{h_2}$ در بسترهای صاف و زیر به ازای اعداد Fr_1 مختلف ۱۹
- شکل ۱-۶- پرش بر روی بستر زیر ۲۱
- شکل ۱-۷- مقایسه مقادیر $\frac{L_f}{y_1}$ و $\frac{y_2}{y_1}$ برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده ۲۳
- شکل ۱-۸- پروفیل سطح آب در زمانهای مختلف به ازای عدد فرود $Fr_1 = 2/9$ ۲۶
- شکل ۱-۹- پروفیل پرش هیدرولیکی به ازای عدد فرود $Fr_1 = 7$ ۲۶
- شکل ۱-۱۰- پروفیل های سطح آب به ازای اندازه المان Δx متفاوت ۲۷
- شکل ۱-۱۱- پروفیل سطح آب اندازه‌گیری شده و برآورد شده از مدل عددی ۲۹
- شکل ۱-۱۲- شمای پرش هیدرولیکی و پروفیل بدست آمده از روش عددی ۲۹
- شکل ۱-۱۳- پروفیل سطح آب مشاهداتی و برآورد شده با مدل عددی سه بعدی ۳۰
- شکل ۱-۱۴- مقایسه پروفیل‌های سرعت افقی متوسط اندازه‌گیری شده با نتایج مدل عددی در موقعیت‌های مختلف پرش هیدرولیکی ۳۲
- شکل ۱-۱۵- بردارهای سرعت و پروفیل سطح آب پرش هیدرولیکی به ازای عدد فرود $Fr_1 = 1/46$ ۳۳
- شکل ۱-۱۶- مقایسه پروفیل‌های سرعت در شبیه‌سازی دو و سه بعدی پرش ۳۴
- شکل ۱-۱۷- مقایسه پروفیل‌های سرعت در مدل عددی و داده‌های تجربی ۳۴
- شکل ۱-۱۸- شبیه سازی سه بعدی میدان های سرعت جریان ۳۵
- شکل ۱-۱۹- مقایسه پروفیل‌های انرژی جنبشی در مدل عددی و داده‌های تجربی ۳۵
- شکل ۱-۲۰- بخش حجمی هوا در انتهای پرش هیدرولیکی در مدل عددی ۳۶
- شکل ۱-۲۱- موقعیت سطح آزاد آب با استفاده از مدل آشفتگی LES ۳۶
- شکل ۱-۲۲- پروفیل های سرعت اندازه گیری شده در امتداد محور مرکزی ۳۸
- شکل ۱-۲۳- تغییرات شدت تلاطم ماکزیمم و تنشهای رینولدزی به ازای X/y_2 ۳۸
- شکل ۱-۲۴- پروفیل های متشابه شدت های تلاطم قائم ۳۹

- شکل ۱-۲۵- پروفیل های متشابه شدت های تلاطم در امتداد جریان ۳۹
- شکل ۱-۲۶- تغییرات مقادیر بی بعد ماکزیمم انرژی جنبشی به ازای X/Y_2 ۴۰
- شکل ۱-۲۷- نرخ استهلاك انرژی بی بعد در پرش هیدرولیکی ۴۰
- شکل ۱-۲۸- طرح شماتیک پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار ۴۱
- شکل ۱-۲۹- پروفیل های بدون بعد سطح آب ۴۲
- شکل ۱-۳۰- تغییرات طول غلطان و پرش هیدرولیکی نسبت به اعداد فرود مختلف ۴۳
- شکل ۱-۳۱- پروفیل های سرعت در فواصل مختلف پرش هیدرولیکی روی بستر موج دار ۴۴
- شکل ۱-۳۲- پروفیل های سطح آب در پرش هیدرولیکی روی بستر موج دار ۴۴
- شکل ۱-۳۳- تغییرات سرعت ماکزیمم نسبی $\frac{U_m}{U_1}$ نسبت به فاصله $\frac{x}{L_j}$ ۴۵
- شکل ۱-۳۴- تغییرات سرعت ماکزیمم نسبی $\frac{U_m}{U_1}$ نسبت به $\frac{x}{y_1}$ و $\frac{x}{L}$ ۴۵
- شکل ۱-۳۵- تغییرات ضریب نیروی برشی ε و ضریب اصطکاک C_f نسبت به اعداد فرود مختلف ۴۷
- شکل ۱-۳۶- پروفیل های بدون بعد سطح آب ۴۸
- شکل ۱-۳۷- تغییرات عمق نسبی پرش به ازای اعداد فرود مختلف ۴۹
- شکل ۱-۳۸- تغییرات طول پرش هیدرولیکی نسبت به اعداد فرود مختلف ۴۹
- شکل ۱-۳۹- تغییرات پارامتر کاهش عمق D نسبت به اعداد فرود اولیه Fr_1 ۵۱
- شکل ۱-۴۰- مقایسه طول پرش هیدرولیکی در بستر موج دار با بستر صاف ۵۲
- شکل ۱-۴۱- تغییرات نرخ اتلاف انرژی G به ازای اعداد فرود اولیه مختلف ۵۳
- شکل ۱-۴۱- الف: فصل مشترک دو سیال در شرایط واقعی ب: فصل مشترک دو سیال با روش بازسازی هندسی ۶۴
- شکل ۱-۲- نمایش بستر موج دار ۶۸
- شکل ۲-۲- تصویر شماتیک سیستم کامپیوتری و حس گرهای عمق سنج بر روی فلوم ۷۱
- شکل ۲-۳- نمایشی از پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار ۷۳
- شکل ۲-۴- طرح شماتیک شبکه بندی محدوده محاسباتی (الف) محدوده هندسی (ب) شبکه بندی محدوده ۸۱
- شکل ۲-۵- حجم کنترل یک بعدی ۸۴

- شکل ۲-۶- الگوریتم مراحل عملیاتی مدل ۹۰
- شکل ۳-۱- پروفیل های سطح آب در پرش هیدرولیکی بر روی بستر I ۹۹
- شکل ۳-۲- پروفیل های سطح آب در پرش هیدرولیکی بر روی بستر II ۹۹
- شکل ۳-۳- پروفیل های سطح آب در پرش هیدرولیکی بر روی بستر III ۹۹
- شکل ۳-۴- پروفیل های سطح آب در پرش هیدرولیکی بر روی بستر IV ۹۹
- شکل ۳-۵- پروفیل های سطح آب در پرش هیدرولیکی بر روی بستر V ۱۰۰
- شکل ۳-۶- پروفیل های سطح آب در پرش هیدرولیکی بر روی بستر VI ۱۰۰
- شکل ۳-۷- پروفیل های بدون بعد سطح آب در پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موج دار ۱۰۱
- شکل ۳-۸- تغییرات عمق نسبی پرش هیدرولیکی نسبت به اعداد فرود اولیه ۱۰۲
- شکل ۳-۹- تغییرات مقدار کاهش عمق نسبی پرش هیدرولیکی نسبت به اعداد فرود اولیه ۱۰۳
- شکل ۳-۱۰- تغییرات طول نسبی پرش هیدرولیکی در بسترهای موج دار به ازای اعداد فرود اولیه ۱۰۴
- شکل ۳-۱۱- تغییرات اتلاف انرژی نسبی پرش هیدرولیکی به ازای اعداد فرود اولیه ۱۰۵
- شکل ۳-۱۲- تغییرات نرخ اتلاف انرژی پرش هیدرولیکی به ازای اعداد فرود اولیه ۱۰۶
- شکل ۳-۱۳- پروفیل های سرعت در طول پرش هیدرولیکی مربوط به آزمون A_{10} ۱۰۷
- شکل ۳-۱۴- پروفیل های سرعت در طول پرش هیدرولیکی مربوط به آزمون B_4 ۱۰۷
- شکل ۳-۱۵- پروفیل های سرعت در طول پرش هیدرولیکی مربوط به آزمون C_{10} ۱۰۷
- شکل ۳-۱۶- پروفیل های سرعت در طول پرش هیدرولیکی مربوط به آزمون D_{13} ۱۰۸
- شکل ۳-۱۷- پروفیل های سرعت در طول پرش هیدرولیکی مربوط به آزمون E_2 ۱۰۸
- شکل ۳-۱۸- پروفیل های سرعت در طول پرش هیدرولیکی مربوط به آزمون F_3 ۱۰۸
- شکل ۳-۱۹- پروفیل های بی بعد سرعت در طول پرش در بستر موج دار و صاف ۱۰۹
- شکل ۳-۲۰- تغییرات سرعت ماکزیمم بی بعد u_m/u_1 به ازای فاصله طولی بی بعد x/L ۱۱۰

- شکل ۳-۲۱- تغییرات سرعت ماکزیمم بی بعد u_m/u_1 به ازای فاصله طولی بی بعد x/y_1 ۱۱۰
- شکل ۳-۲۲- تغییرات سرعت ماکزیمم بی بعد u_m/u_1 به ازای فاصله طولی بی بعد x/L ۱۱۱
- شکل ۳-۲۳- تغییرات مقیاس عمقی بی بعد b/y_1 به ازای فاصله طولی بی بعد x/y_1 ۱۱۱
- شکل ۳-۲۴- تغییرات ضخامت لایه مرزی بی بعد δ/y_1 به ازای فاصله طولی بی بعد x/y_1 ۱۱۲
- شکل ۳-۲۵- تغییرات ضخامت لایه مرزی بی بعد δ/b به ازای فاصله طولی بی بعد x/y_1 ۱۱۲
- شکل ۳-۲۶- مقایسه تغییرات ضریب نیروی برشی ε در بستر موج دار و صاف ۱۱۴
- شکل ۳-۲۷- تغییرات ضریب اصطکاک بستر به ازای اعداد فرود اولیه در بستر موج دار ۱۱۵
- شکل ۳-۲۸- مقایسه پروفیل های سطح آب بدست آمده از مدل های آشفتگی و داده های تجربی در آزمون A_{11} ۱۲۰
- شکل ۳-۲۹- مقایسه پروفیل های سطح آب بدست آمده از مدل های آشفتگی و داده های تجربی در آزمون B_3 ۱۲۰
- شکل ۳-۳۰- مقایسه پروفیل های سطح آب بدست آمده از مدل های آشفتگی و داده های تجربی در آزمون C_8 ۱۲۰
- شکل ۳-۳۱- مقایسه پروفیل های سطح آب بدست آمده از مدل های آشفتگی و داده های تجربی در آزمون D_8 ۱۲۱
- شکل ۳-۳۲- مقایسه پروفیل های سطح آب بدست آمده از مدل های آشفتگی و داده های تجربی در آزمون E_6 ۱۲۱
- شکل ۳-۳۳- مقایسه پروفیل های سطح آب بدست آمده از مدل های آشفتگی و داده های تجربی در آزمون F_1 ۱۲۱
- شکل ۳-۳۴- شبیه سازی پروفیل سطح آزاد پرش با مدل $k-\varepsilon$ استاندارد در آزمون D_8 ۱۲۲
- شکل ۳-۳۵- شبیه سازی پروفیل سطح آزاد پرش با مدل $k-\varepsilon$ RNG در آزمون E_6 ۱۲۳
- شکل ۳-۳۶- شبیه سازی پروفیل سطح آزاد پرش با مدل $k-\varepsilon$ استاندارد در آزمون F_1 ۱۲۳
- شکل ۳-۳۷- پروفیل های بی بعد سرعت بدست آمده از مدل های آشفتگی در طول پرش هیدرولیکی آزمون A_{11} ۱۲۴

- شکل ۳-۳۸- پروفیل های بی بعد سرعت بدست آمده از مدل های آشفتگی در طول پرش هیدرولیکی آزمون D₈ ۱۲۵
- شکل ۳-۳۹- پروفیل های بی بعد سرعت بدست آمده از مدل های آشفتگی در طول پرش هیدرولیکی آزمون E₆ ۱۲۵
- شکل ۳-۴۰- پروفیل های بی بعد سرعت بدست آمده از مدل های آشفتگی در طول پرش هیدرولیکی آزمون F₁ ۱۲۶
- شکل ۳-۴۱- تغییرات $\frac{b}{y_1}$ بدست آمده از مدل های آشفتگی در فواصل بی بعد پرش هیدرولیکی ۱۲۷
- شکل ۳-۴۲- شبیه سازی دو بعدی منحنی های هم سرعت جریان مربوط به آزمون A₁₁ ۱۲۸
- شکل ۳-۴۳- شبیه سازی دو بعدی منحنی های هم سرعت جریان مربوط به آزمون E₆ ۱۲۸
- شکل ۳-۴۴- شبیه سازی دو بعدی بردارهای سرعت جریان مربوط به آزمون A₁₁ ۱۲۹
- شکل ۳-۴۵- شبیه سازی دو بعدی بردارهای سرعت جریان مربوط به آزمون E₆ ۱۲۹
- شکل ۳-۴۶- تغییرات تنش برشی بستر بدست آمده از مدل های آشفتگی در فواصل مختلف پرش مربوط به آزمون F₁ ۱۳۱
- شکل ۳-۴۷- مقایسه تغییرات ضریب نیروی برشی ε بدست آمده از مدل های آشفتگی و نتایج تجربی ۱۳۱
- شکل ۳-۴۸- مقایسه ضریب اصطکاک سطحی C_r بدست آمده از مدل های آشفتگی و نتایج تجربی ۱۳۱
- شکل ۳-۴۹- بردارهای سرعت در مقاطع مختلف پرش مربوط به آزمون D₈ ۱۳۲
- شکل ۳-۵۰- بردارهای سرعت در مقاطع مختلف پرش مربوط به آزمون F₁ ۱۳۳
- شکل ۳-۵۱- تغییرات شدت های تلاطم ماکزیمم $(\sqrt{u'^2})_m / u_1$ به ازای x/y_2 در آزمون های E₂, B₃ و F₁ ۱۳۴
- شکل ۳-۵۲- تغییرات شدت های تلاطم ماکزیمم $(\sqrt{v'^2})_m / u_1$ به ازای x/y_2 در آزمون های E₂, B₃ و F₁ ۱۳۴
- شکل ۳-۵۳- تغییرات شدت های تلاطم ماکزیمم $(\overline{u'v'})_m / u_1^2$ به ازای x/y_2 در آزمون های E₂, B₃ و F₁ ۱۳۵
- شکل ۳-۵۴- منحنی های هم شدت تلاطم در نواحی مختلف پرش مربوط به آزمون E₆ ۱۳۶
- شکل ۳-۵۵- تغییرات شدت های تلاطم ماکزیمم $(\sqrt{u'^2})_m / u_1$ به ازای x/y_2 در آزمون های E₂, B₃ و F₁ بستر صاف ۱۳۷

- شکل ۳-۵۶- تغییرات شدت های تلاطم ماکزیمم $(\sqrt{v^2})_m/u_1$ به ازای x/y_2 در آزمون های B_3 ، E_2 و F_1 بستر صاف..... ۱۳۷
- شکل ۳-۵۷- تغییرات شدت های تلاطم ماکزیمم $(u^2)_m/u_1^2$ به ازای x/y_2 در آزمون های B_3 ، E_2 و F_1 بستر صاف..... ۱۳۷
- شکل ۳-۵۸- توزیع انرژی جنبشی تلاطم در طول پرش هیدرولیکی مربوط به آزمون F_1 ۱۳۹
- شکل ۳-۵۹- تغییرات انرژی جنبشی ماکزیمم بی بعد به ازای x/y_2 در آزمون های B_3 ، E_2 و F_1 ۱۴۰
- شکل ۳-۶۰- تغییرات انرژی جنبشی ماکزیمم بی بعد به ازای x/y_2 در آزمون های B_3 ، E_2 و F_1 بر روی بستر صاف..... ۱۴۰
- شکل ۳-۶۱- اتلاف انرژی جنبشی تلاطم در مقاطع مختلف پرش مربوط به آزمون E_6 ۱۴۱
- شکل ۳-۶۲- اتلاف انرژی جنبشی تلاطم ماکزیمم در طول پرش هیدرولیکی مربوط به آزمون F_1 ۱۴۲
- شکل ۳-۶۳- اتلاف انرژی جنبشی تلاطم ماکزیمم در طول پرش هیدرولیکی مربوط به آزمون F_1 بر روی بستر صاف..... ۱۴۳

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱-۱- مقدمه

پرش هیدرولیکی جریان متغیر سریعی است که در بسیاری از سازه های آبی ایجاد می گردد. پرش هیدرولیکی یکی از پدیده های مهم جریان آب در کانال های رو باز می باشد که در آن تلاطم و چرخش سطحی آب وجود دارد و مقداری هوا با آب به جهت تلاطم در قسمت های سطحی مخلوط می شود (ابزیشمی، ۱۳۷۴).

پرش کلاسیک بر روی بسترهای صاف به صورت تجربی توسط محققین زیادی بررسی شده و روابط تجربی جهت تعیین مشخصات هیدرولیکی و ساختار تلاطمی آن ارائه شده است. استفاده از بسترهای زبر در پایین دست سازه ها جهت کاهش طول حوضچه های آرامش مطرح گردید. در زمینه پرش هیدرولیکی روی بستر های زبر نیز مطالعات مفصلی توسط محققین انجام گرفته است. به طوری که تأثیر زبری های مکعبی شکل بر روی طول پرش هیدرولیکی و حوضچه آرامش توسط راجاراتنام^۱ (ویشر و هاگر، ۱۹۹۵)

1. Rajaratnam

در سال ۱۹۶۸، هاگز و فلک (۱۹۸۴)، محمدعلی (۱۹۹۱) و نجم (۲۰۰۲) بررسی شده است. با توجه به معایب زبری های کف در ایجاد کاویتاسیون، بسترهای موج دار توسط اید و راجاراتنام (۲۰۰۲) پیشنهاد گردید.

با وجود اینکه مطالعات گسترده ای در خصوص پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای صاف و زبر صورت گرفته، ولی پرش بر روی بسترهای موج دار هنوز بطور جامع و بصورت تحلیلی و تجربی مورد مطالعه و ارزیابی قرار نگرفته است. مطالعات بر روی مدل های هیدرولیکی نشان می دهد که استفاده از بسترهای موج دار در حوضچه های آرامش موجب کاهش طول و عمق ثانویه پرش و تثبیت عمق پایاب گردیده و در نتیجه کاهش هزینه های ساخت حوضچه های آرامش را به دنبال دارد. دامنه اندک مطالعات در خصوص پرش بر روی بسترهای موج دار ضرورت توسعه دانش در این زمینه را تاکید می نماید. با توجه به آشفتگی جریان در پرش هیدرولیکی، استفاده از مدل های آشفتگی برای شبیه سازی پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موج دار ضروری می باشد.

هدف از این تحقیق، در مرحله اول بررسی تجربی پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موج دار سینوسی شکل برای تعیین مشخصات پرش هیدرولیکی، اثر ارتفاع و طول موج بستر موج دار بر میزان استهلاک انرژی و توزیع تنش برشی بستر می باشد. در مرحله دوم هدف از تحقیق حاضر تعیین پروفیل های سطح آب و سرعت، توزیع تنش برشی بستر با مدل های آشفتگی $k-\epsilon$ و مقایسه با نتایج بررسی های تجربی و همچنین بررسی ساختار تلاطمی پرش بر روی بستر موج دار بصورت تنش های رینولدزی، انرژی جنبشی تلاطم k و استهلاک انرژی ϵ با بکارگیری مدل تلاطم RSM می باشد.

۲-۱- مشخصات پرش هیدرولیکی

طول پرش یکی از مشخصه های پرش هیدرولیکی می باشد. در پرش هیدرولیکی جت آب در کف بستر و در ناحیه ای نزدیک ابتدای پرش بوده و در ناحیه مرکزی به سمت بالای پرش توسعه می یابد. ناحیه چرخش یا جریان غلطی^۱ در نزدیکی سطح آب قرار دارد و بعنوان طول غلطان پرش (L_r) تعریف می شود. در انتهای ناحیه چرخشی در تمام نقاط جریان به طرف جلو می باشد و سطح آب تقریباً افقی است. در انتهای پرش هیدرولیکی جریان متلاطم وجود ندارد. طول پرش (L_r) از طول غلطان بزرگتر می باشد.

عمق ثانویه از دیگر مشخصه های مهم پرش هیدرولیکی می باشد. عمق آب بلافاصله بعد از پرش هیدرولیکی در مقطعی که سطح آب افقی است عمق ثانویه نامیده می شود. عمق جریان در ابتدا و انتهای پرش اعماق مزدوج نامیده می شود. عمق ثانویه پرش در یک کانال مستطیلی افقی با استفاده از معادلات پیوستگی و مومنتم و با در نظر گرفتن فرضیات توزیع هیدرواستاتیک فشار، توزیع یکنواخت سرعت محاسبه می شود (نجم، ۲۰۰۱).

۳-۱- انواع پرش هیدرولیکی

پرش هیدرولیکی بر اساس مقدار عدد فرود قبل از پرش تقسیم بندی می شود. پرش هیدرولیکی در محدوده اعداد فرود $1 < Fr_1 < 1/7$ پرش موج دار^۲ است که در آن استهلاك انرژی ناچیز می باشد. در اعداد فرود $1/7 < Fr_1 < 2/5$ پرش ضعیف^۳ و در محدوده $2/5 < Fr_1 < 4/5$ پرش نوسانی^۴ نامیده می شود. در

-
1. Roller flow
 2. Undular jump
 3. Weak jump
 4. Oscillating jump