

بہ نام او



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

بررسی و تعیین پارامترهای آشفتگی بعد از سازه‌ی تبدیل حذف پرش هیدرولیکی

**Study and determinate of turbulent flow characteristics during transition from
super- to subcritical flow**

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه‌های هیدرولیکی

سروش نادری

استاد راهنما

دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

زمستان ۱۳۹۱



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی

سروش نادری

تحت عنوان:

بررسی و تعیین پارامترهای آشفستگی بعد از سازه‌ی تبدیل حذف پرش هیدرولیکی

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۰۵ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه

دکتر احمد سوهانکار

۲- استاد داور پایان‌نامه

دکتر حمید رضا صفوی

۳- استاد داور پایان‌نامه

دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

۴- سرپرست تحصیلات تکمیلی

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

این مجموعه تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

چکیده

۱	فصل اول: کلیات.....
۱-۱	مقدمه.....
۲	۲-۱ پرش هیدرولیکی.....
۲-۱	۱-۲ معادله‌ی دینامیکی جریان تدریجی.....
۴	۲-۲-۱ کاربردهای تغییر رژیم جریان همراه با پرش هیدرولیکی.....
۴	۳-۲-۱ کنترل پرش هیدرولیکی.....
۴	۴-۲-۱ آشفستگی در پرش هیدرولیکی.....
۵	۵-۲-۱ معایب پرش هیدرولیکی.....
۵	۳-۱ مفهوم نقطه‌ی تکیه و کاربرد آن در تغییر رژیم جریان در کانال‌های با شیب متغیر.....
۸	۴-۱ حذف پرش هیدرولیکی بر اساس مفهوم نقطه‌ی تکیه.....
۸	۵-۱ متدولوژی و اهداف تحقیق حاضر.....
۹	۶-۱ ساختار پایان‌نامه‌ی حاضر.....
۱۰	فصل دوم: مبانی نظری و پیشینه‌ی پژوهش.....
۱۰	۱-۲ مقدمه.....
۱۱	۲-۲ مبانی حاکم بر جریان آشفته‌ی غیر یکنواخت.....
۱۱	۱-۲-۲ مقدمه‌ای بر جریان آشفته.....
۱۱	۲-۲-۲ معادله‌ی پیوستگی.....
۱۲	۳-۲-۲ معادلات اندازه حرکت رینولدز و تنش‌های متلاطم.....
۱۳	۴-۲-۲ پارامترهای آشفستگی.....
۱۵	۳-۲ تاریخچه‌ی مطالعه‌ی ساختار آشفته‌ی پرش هیدرولیکی.....
۲۵	۴-۲ تاریخچه‌ی مطالعه‌ی حذف پرش هیدرولیکی.....
۲۵	۱-۴-۲ ایده‌ی حذف پرش هیدرولیکی.....

۲۶	۲-۴-۲ ساخت تبدیل حذف پرش هیدرولیکی بر مبنای ایده‌ی چاو.....
۲۷	۲-۴-۲-الف تعیین عمق اولیه‌ی جریان.....
۲۷	۲-۴-۲-ب فرض پروفیل سطح جریان.....
۲۷	۲-۴-۲-ج فرض در مورد شیب خط انرژی.....
۲۷	۲-۴-۲-د تعیین عمق ثانویه‌ی جریان.....
۲۷	۳-۴-۲ روابط طراحی برای ساخت سازه‌ی تبدیل.....
۲۸	۵- جمع‌بندی فصل و نوآوری پژوهش حاضر.....
۳۰	فصل سوم: مدلسازی تحلیلی و آزمایشگاهی.....
۳۰	۱-۳ مقدمه.....
۳۱	۱-۱-۳ معرفی رویکرد کلی تحلیل مسأله.....
۳۱	۲-۱-۳ مبانی حاکم بر جریان از روی یک برآمدگی موضعی در کانال مستطیلی.....
۳۱	۲-۱-۳-الف انرژی مخصوص.....
۳۲	۲-۱-۳-ب رفتار جریان در برخورد با مانع.....
۳۲	۳-۱-۳ بررسی اثر افت انرژی در جریان عبوری از روی تبدیل.....
۳۳	۳-۱-۳-الف بررسی تئوریک افت انرژی در طول سازه‌های تبدیل.....
۳۴	۳-۱-۳-ب بررسی آزمایشگاهی افت انرژی در طول تبدیل‌ها.....
۳۴	۴-۱-۳ شرح مراحل حل مسأله و کدنویسی.....
۳۵	۴-۱-۳-الف کد نویسی برای تعیین دبی جریان جهت حذف کامل پرش (برنامه‌ی الف).....
۴۰	۴-۱-۳-ب کد نویسی برای بررسی پروفیل سطح شکل گرفته روی تبدیل (برنامه‌ی ب).....
۴۱	۲-۳ مطالعات آزمایشگاهی.....
۴۲	۱-۲-۳ کانال و مدل‌های آزمایشگاهی.....
۴۲	۱-۲-۳-الف معرفی کانال موجود در آزمایشگاه.....
۴۲	۱-۲-۳-ب تجهیزات جانبی کانال آزمایشگاهی.....
۴۵	۱-۲-۳-ج مکانیزم گردش آب.....
۴۵	۲-۲-۳ ابزار اندازه‌گیری.....
۴۵	۲-۲-۳-الف اندازه‌گیری عمق جریان.....

۴۶	.....ب اندازه گیری دبی جریان.....
۴۶	.....ج اندازه گیری سرعت های لحظه ای.....
۴۸	.....د نرم افزار WinADV.....
۴۸	.....۳-۲-۳ مدل های سازه ی تبدیل.....
۴۹	.....۴-۲-۳ شرح آزمایش ها.....
۴۹	.....۴-۲-۳ الف آزمایش های سری اول.....
۴۹	.....ب آزمایش های سری دوم.....
۵۱	.....۳-۳ جمع بندی فصل.....
۵۱	فصل چهارم: نتایج و بحث
۵۲	.....۱-۴ مقدمه.....
۵۲	.....۲-۴ بررسی قابلیت تبدیل در حذف پرش هیدرولیکی برای اعداد فرود متفاوت با فرود طراحی.....
۵۲	.....۱-۲-۴ صحت سنجی نتایج.....
۵۵	.....۲-۲-۴ بحث در مورد معادله ی مشخصه ی سازه ی تبدیل.....
۵۸	.....۳-۲-۴ روش دیگر برای طراحی سازه ی تبدیل.....
۵۹	.....۴-۲-۴ بررسی تغییرات منحنی سطح آب.....
۶۱	.....۳-۴ بررسی پروفیل سرعت و پارامترهای آشفتگی بعد از تبدیل.....
۶۱	.....۱-۳-۴ بررسی پروفیل های سرعت شکل گرفته بعد از سازه ی تبدیل.....
۶۸	.....۲-۳-۴ بررسی متوسط نوسانات آشفتگی در جهت طولی.....
۷۱	.....۳-۳-۴ بررسی متوسط نوسانات آشفتگی در جهت قائم.....
۷۴	.....۴-۳-۴ بررسی متوسط نوسانات آشفتگی در جهت عرضی.....
۷۷	.....۵-۳-۴ بررسی تغییرات انرژی جنبشی آشفتگی بعد از سازه ی تبدیل.....
۷۹	.....۶-۳-۴ بررسی توزیع تنش رینولدز بعد از سازه ی تبدیل.....
۸۲	.....۷-۳-۴ بررسی تغییرات بیشینه ی مشخصه های آشفتگی و تنش برشی رینولدز بعد از سازه ی تبدیل.....
۸۷	.....۴-۴ جمع بندی فصل.....
۸۸	فصل پنجم: جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات

۸۸	۱-۵ مقدمه.....
۸۸	۲-۵ جمع‌بندی تحقیق.....
۸۹	۳-۵ نتایج.....
۸۹	۱-۳-۵ نتایج مربوط به قابلیت تبدیل در حذف پرش هیدرولیکی با عدد فرود متفاوت با فرود طراحی آن.....
۹۰	۲-۳-۵ نتایج مربوط به بررسی پروفیل‌های سرعت و پارمترهای آشفتگی و تنش‌های رینولدز بعد از سازه‌ی تبدیل.....
۹۲	۴-۵ پیشنهادات.....

منابع

- پیوست: کدنویسی برنامه‌های تهیه شده در نرم‌افزار متلب.....**
- جدول (پ-۱): کدنویسی برنامه‌ی (الف) در نرم‌افزار متلب..... پ-۱
- جدول (پ-۲): کدنویسی برنامه‌ی (ب) در نرم‌افزار متلب..... پ-۳

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: حالت های مختلف شکل گیری جریان در اطراف نقطه ی تکینه.....	۷
شکل ۱-۲: پروفیل های سرعت متوسط طولی بعد از گردابه ی پرش در صفحه ی قائم میانی کانال مورد آزمایش برای اعداد فرود اولیه ی (الف) ۳/۸۷ و (ب) ۱۰/۴۸ حاصل کار وو و راجاراتنام (۱۹۹۶).....	۱۶
شکل ۲-۲: تغییرات مقدار تنش برشی بستر در مقابل فاصله از پاشنه ی پرش برای اعداد فرود نشان داده شده حاصل کار وو و راجاراتنام (۱۹۹۶).....	۱۷
شکل ۳-۲: توزیع سرعت های متوسط در صفحه ی مرکزی پرش هیدرولیکی با اعداد فرود نشان داده شده حاصل کار ليو و همکاران (۲۰۰۳).....	۱۸
شکل ۴-۲: توزیع شدت آشفتگی نسبی در جهت طولی و قائم در صفحه ی مرکزی کانال آزمایش برای سه عدد فرود مورد آزمایش توسط ليو و همکاران (۲۰۰۳).....	۱۹
شکل ۵-۲: توزیع تنش رینولدز بی بعد شده در صفحه ی مرکزی پرش هیدرولیکی با اعداد فرود مختلف حاصل کار ليو و همکاران (۲۰۰۳).....	۲۰
شکل ۶-۲: تغییرات بیشینه ی انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه ی مرکزی پرش هیدرولیکی در مقابل فاصله از ابتدای پرش در اعداد فرود مختلف حاصل کار ليو و همکاران (۲۰۰۳).....	۲۱
شکل ۷-۲: اجزای اصلی سامانه ی سرعت سنج PIV.....	۲۱
شکل ۸-۲: توزیع مقدار سرعت متوسط طولی به سرعت اولیه ی جریان در پرش هیدرولیکی با اعداد فرود (الف) ۱/۳۷، (ب) ۱/۶۵ و (ج) ۲/۹۹ در کار لنون و هیل (۲۰۰۳).....	۲۲
شکل ۹-۲: توزیع شدت آشفتگی نسبی در پرش هیدرولیکی با عدد فرود اولیه ی ۲/۹۹ ارائه شده توسط لنون و هیل (۲۰۰۳).....	۲۲
شکل ۱۰-۲: توزیع سرعت متوسط (الف) طولی، (ب) قائم و (ج) چرخش برای پرش هیدرولیکی با عدد فرود اولیه ی ۱/۱۹ ارائه شده توسط میسرا و همکاران (۲۰۰۸).....	۲۳
شکل ۱۱-۲: توزیع جذر میانگین مربعات نوسانات سرعت در جهت (الف) طولی و (ب) قائم و (ج) توزیع مقدار انرژی آشفتگی و (د) توزیع تنش برشی رینولدز در پرش هیدرولیکی با عدد فرود اولیه ی ۱/۱۹ ارائه شده توسط میسرا و همکاران (۲۰۰۸).....	۲۴
شکل ۱۲-۲: توزیع جذر میانگین مربعات نوسانات بی بعد شده ی سرعت در جهت (الف) و (ب) طولی (ج) و (د) قائم با عدد فرود اولیه ی معرفی شده، ارائه شده توسط زیر و همکاران (۲۰۱۰).....	۲۵
شکل ۱۳-۲: مثال ارائه شده در کتاب چاو در سال ۱۹۵۹.....	۲۶

فهرست شکل ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۸.....	شکل ۲-۱۴: پارامترهای معرف تابع خطای ۲-۱۹.....
۳۳.....	شکل ۳-۱: نمودار تغییرات افت انرژی نسبت به عمق اولیه طراحی سازه در مقابل عدد فرود اولیه طراحی سازه.....
۳۶.....	شکل ۳-۲: سطوح فوق بحرانی و زیر بحرانی شکل گرفته در اثر عبور جریان از روی تبدیل.....
۳۶.....	شکل ۳-۳: پروفیل سطح شکل گرفته روی تبدیل در صورت کنترل نشدن جریان از پایین دست.....
۳۷.....	شکل ۳-۴: پروفیل سطح تئوریک شکل گرفته همراه با تشکیل پرش هیدرولیکی بر روی تبدیل.....
۳۸.....	شکل ۳-۵: سطوح زیر بحرانی و فوق بحرانی شکل گرفته روی سازه‌ی تبدیل در حالت حذف پرش هیدرولیکی.....
۳۸.....	شکل ۳-۶: پروفیل سطح نهایی شکل گرفته روی سازه‌ی تبدیل در شرایط حذف کانال پرش هیدرولیکی.....
۴۲.....	شکل ۳-۷: طرح شماتیک کانال آزمایشگاه: (الف) پلان کانال و تجهیزات، (ب) مقطع طولی کانال.....
۴۳.....	شکل ۳-۸: نمایی از یک دی سنج الکترومغناطیسی.....
۴۹.....	شکل ۳-۹: نقاط برداشت سرعت‌های لحظه‌ای به وسیله‌ی دستگاه ADV در برداشت ۲.....
۵۲.....	شکل ۴-۱: تغییرات عدد فرود در مقابل نسبت عمق اولیه‌ی جریان به عمق اولیه طراحی سازه‌ی تبدیل در شرایط حذف کامل پرش توسط تبدیل $T1$
۵۳.....	شکل ۴-۲: تغییرات عدد فرود در مقابل نسبت عمق اولیه‌ی جریان به عمق اولیه طراحی سازه‌ی تبدیل در شرایط حذف کامل پرش توسط تبدیل $T2$
۵۳.....	شکل ۴-۳: تغییرات عدد فرود در مقابل نسبت عمق اولیه‌ی جریان به عمق اولیه طراحی سازه‌ی تبدیل در شرایط حذف کامل پرش توسط تبدیل $T3$
۵۳.....	شکل ۴-۴: تغییرات تغییرات عدد فرود در مقابل نسبت عمق اولیه‌ی جریان به عمق اولیه طراحی سازه‌ی تبدیل در شرایط حذف کامل پرش توسط تبدیل $T4$
۵۵.....	شکل ۴-۵: تغییرات عدد فرود در مقابل نسبت عمق اولیه‌ی جریان به عمق اولیه طراحی سازه‌ی تبدیل در هنگام حذف کامل پرش برای تبدیل هایی با اعماق اولیه‌ی طراحی مختلف و عدد فرود طراحی ۱/۸۸.....
۵۵.....	شکل ۴-۶: تغییرات عدد فرود در مقابل نسبت عمق اولیه‌ی جریان به عمق اولیه طراحی سازه‌ی تبدی در هنگام حذف کامل پرش برای تبدیل هایی با اعماق اولیه‌ی طراحی مختلف و عدد فرود طراحی ۳.....
۵۶.....	شکل ۴-۷: تغییرات Fr در مقابل تغییرات (y_1/y_{1d}) را برای تبدیل های طراحی شده با اعداد فرود اولیه‌ی مختلف.....

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- شکل ۴-۸: تغییرات پارامتر مشخصه‌ی سازه‌ی تبدیل در مقابل تغییرات عدد فرود طراحی تبدیل..... ۵۷
- شکل ۴-۹: سطح جریان روی تبدیل TI با عمق اولیه‌ی ۰/۰۳ متر و عدد فرود اولیه‌ی ۲/۹۹..... ۵۸
- شکل ۴-۱۰: سطح جریان روی تبدیل TI با اعماق اولیه‌ی مختلف..... ۵۹
- شکل ۴-۱۱: توزیع سرعت متوسط در صفحه‌ی میانی قائم کانال، برداشت ۴..... ۶۰
- شکل ۴-۱۲: توزیع سرعت متوسط در صفحه‌ی میانی قائم کانال، برداشت ۳..... ۶۱
- شکل ۴-۱۳: توزیع سرعت متوسط در صفحه‌ی میانی قائم کانال، برداشت ۵..... ۶۱
- شکل ۴-۱۴: توزیع سرعت متوسط در صفحه‌ی میانی قائم کانال، برداشت ۲..... ۶۱
- شکل ۴-۱۵: توزیع سرعت متوسط در صفحه‌ی میانی قائم کانال، برداشت ۶..... ۶۱
- شکل ۴-۱۶: توزیع سرعت متوسط در صفحه‌ی میانی قائم کانال، برداشت ۱..... ۶۲
- شکل ۴-۱۷: توزیع سرعت متوسط در صفحه‌ی میانی قائم کانال، برداشت ۷..... ۶۲
- شکل ۴-۱۸: خطوط جریان شکل گرفته بعد از تبدیل در برداشت ۴..... ۶۴
- شکل ۴-۱۹: خطوط جریان شکل گرفته بعد از تبدیل در برداشت ۲..... ۶۴
- شکل ۴-۲۰: خطوط جریان شکل گرفته بعد از تبدیل در برداشت ۱..... ۶۴
- شکل ۴-۲۱: خطوط جریان شکل گرفته بعد از تبدیل در برداشت ۷..... ۶۵
- شکل ۴-۲۲: تغییرات بیشینه‌ی سرعت بی بعد شده با دو شیوه، در مقابل نسبت فاصله‌ی بعد از تبدیل به عمق ثانویه برای جریان‌ها با اعداد فرود نشان داده شده..... ۶۶
- شکل ۴-۲۳: تغییرات بیشینه‌ی سرعت بی بعد شده در مقابل نسبت فاصله‌ی بعد از تبدیل به عمق ثانویه برای جریان‌ها با اعداد فرود نشان داده شده هنگام وقوع پرش هیدرولیکی..... ۶۷
- شکل ۴-۲۴: توزیع $(\sqrt{u'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۴..... ۶۸
- شکل ۴-۲۵: توزیع $(\sqrt{u'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۳..... ۶۸

فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۶۸.....	شکل ۴-۲۶: توزیع $(\sqrt{u'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۵.....
۶۸.....	شکل ۴-۲۷: توزیع $(\sqrt{u'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۲.....
۶۹.....	شکل ۴-۲۸: توزیع $(\sqrt{u'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۶.....
۶۹.....	شکل ۴-۲۹: توزیع $(\sqrt{u'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۱.....
۶۹.....	شکل ۴-۳۰: توزیع $(\sqrt{u'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۷.....
۷۱.....	شکل ۴-۳۱: توزیع $(\sqrt{v'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۴.....
۷۱.....	شکل ۴-۳۲: توزیع $(\sqrt{v'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۳.....
۷۱.....	شکل ۴-۳۳: توزیع $(\sqrt{v'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۵.....
۷۱.....	شکل ۴-۳۴: توزیع $(\sqrt{v'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۲.....
۷۲.....	شکل ۴-۳۵: توزیع $(\sqrt{v'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۶.....
۷۲.....	شکل ۴-۳۶: توزیع $(\sqrt{v'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۱.....
۷۲.....	شکل ۴-۳۷: توزیع $(\sqrt{v'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۷.....
۷۳.....	شکل ۴-۳۸: توزیع $(\sqrt{u'^2}/\sqrt{v'^2})$ در برداشت ۱.....
۷۴.....	شکل ۴-۳۹: توزیع $(\sqrt{w'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۴.....
۷۴.....	شکل ۴-۴۰: توزیع $(\sqrt{w'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۳.....
۷۴.....	شکل ۴-۴۱: توزیع $(\sqrt{w'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۵.....
۷۴.....	شکل ۴-۴۲: توزیع $(\sqrt{w'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۲.....

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

۷۵.....	شکل ۴-۴۳: توزیع $(\sqrt{w'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۶.
۷۵.....	شکل ۴-۴۴: توزیع $(\sqrt{w'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۱.
۷۵.....	شکل ۴-۴۵: توزیع $(\sqrt{w'^2}/U_1)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۷.
۷۶.....	شکل ۴-۴۶: توزیع $(\sqrt{u'^2}/\sqrt{w'^2})$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۱.
۷۶.....	شکل ۴-۴۷: توزیع (\sqrt{k}/U_1) بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۴.
۷۷.....	شکل ۴-۴۸: توزیع (\sqrt{k}/U_1) بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۳.
۷۷.....	شکل ۴-۴۹: توزیع (\sqrt{k}/U_1) بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۵.
۷۷.....	شکل ۴-۵۰: توزیع (\sqrt{k}/U_1) بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۲.
۷۷.....	شکل ۴-۵۱: توزیع (\sqrt{k}/U_1) بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۶.
۷۸.....	شکل ۴-۵۲: توزیع (\sqrt{k}/U_1) بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۱.
۷۸.....	شکل ۴-۵۳: توزیع (\sqrt{k}/U_1) بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۷.
۷۹.....	شکل ۴-۵۴: توزیع $(-\rho\overline{u'v'}/U_1^2)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۴.
۷۹.....	شکل ۴-۵۵: توزیع $(-\rho\overline{u'v'}/U_1^2)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۳.
۷۹.....	شکل ۴-۵۶: توزیع $(-\rho\overline{u'v'}/U_1^2)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۵.
۷۹.....	شکل ۴-۵۷: توزیع $(-\rho\overline{u'v'}/U_1^2)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۲.
۸۰.....	شکل ۴-۵۸: توزیع $(-\rho\overline{u'v'}/U_1^2)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۶.
۸۰.....	شکل ۴-۵۹: توزیع $(-\rho\overline{u'v'}/U_1^2)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۱.
۸۰.....	شکل ۴-۶۰: توزیع $(-\rho\overline{u'v'}/U_1^2)$ بعد از سازه‌ی تبدیل در برداشت ۷.
۸۱.....	شکل ۴-۶۱: تغییرات بیشینه‌ی متوسط شدت نوسانات آشفته‌گی بی بعد شده در جهت طولی.
۸۱.....	شکل ۴-۶۲: تغییرات بیشینه‌ی متوسط شدت نوسانات آشفته‌گی بی بعد شده در جهت طولی در صفحه‌ی قائم میانی کانال در مقاطع با فاصله‌های مختلف از پاشنه‌ی پرش هیدرولیکی با اعداد فرود اولیه‌ی نشان داده شده در بررسی محققین مختلف.

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- شکل ۴-۶۳: تغییرات بیشینه‌ی متوسط شدت نوسانات آشفستگی بی بعد شده در جهت قائم در مقابل نسبت فاصله از تبدیل به عمق ثانویه‌ی جریان..... ۸۳
- شکل ۴-۶۴: تغییرات بیشینه‌ی متوسط شدت نوسانات آشفستگی بی بعد شده در جهت طولی در صفحه‌ی قائم میانی کانال در مقاطع با فاصله‌های مختلف از پاشنه‌ی پرش هیدرولیکی با اعداد فرود اولیه‌ی نشان داده شده در بررسی محققین مختلف ۸۳
- شکل ۴-۶۵: تغییرات بیشینه‌ی متوسط شدت نوسانات آشفستگی در جهت عرضی در مقابل نسبت فاصله از تبدیل به عمق ثانویه‌ی جریان..... ۸۴
- شکل ۴-۶۶: توزیع بیشینه‌ی تنش رینولدز بی بعد بعد از سازه‌ی تبدیل..... ۸۴
- شکل ۴-۶۷: تغییرات بیشینه‌ی تنش برشی رینولدز بی بعد شده در جهت طولی در صفحه‌ی قائم میانی کانال در مقاطع با فاصله‌های مختلف از پاشنه‌ی پرش هیدرولیکی با اعداد فرود اولیه‌ی مختلف در بررسی محققین پیشین ۸۵
- شکل ۴-۶۸: تغییرات بیشینه‌ی انرژی آشفستگی بی بعد شده، در صفحه‌ی قائم میانی کانال، بعد از سازه‌ی تبدیل..... ۸۵

فهرست جدول‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۸.....	جدول ۱-۲: مقادیر ضرایب ثابت رابطه (۲-۲۱).....
۳۴.....	جدول ۱-۳: مشخصات مدل‌های آزمایشگاهی و افت انرژی در آنها.....
۳۹.....	جدول ۲-۳: نمونه‌ی خروجی برنامه‌ی (الف) برای یک تبدیل با ارتفاع اولیه‌ی جریان خاص با افزایش دبی با گام ۰/۰۰۰۱.....
۴۰.....	جدول ۳-۳: نمونه‌ی خروجی برنامه‌ی (الف) برای یک تبدیل با ارتفاع اولیه‌ی جریان خاص با افزایش دبی با گام ۰/۰۰۰۰۱.....
۴۹.....	جدول ۴-۳: اعماق اولیه و سازه‌های تبدیل مورد بررسی در آزمایش‌های سری اول.....
۵۰.....	جدول ۵-۳: برداشت‌های انجام‌شده در آزمایش‌های سری دوم.....
۵۶.....	جدول ۱-۴: پارامتر مشخصه‌ی سازه‌ی تبدیل برای اعداد فرود طراحی مختلف.....
۵۹.....	جدول ۲-۴: معادلات منحنی سطح آب روی تبدیل TI ، برای اعماق اولیه‌ی مختلف.....

فهرست علامتها

<u>علامت</u>	<u>توضیح</u>
b	عرض کانال
E_i	انرژی مخصوص جریان در مقطع i
F_1	علامت تابع
F_2	علامت تابع
Fr	عدد فرود
Fr_{1d}	فرود اولیهی جریان برای طراحی سازهی تبدیل
g	شتاب ثقل زمین
k	انرژی آشفتگی
L	طول سازهی تبدیل
L_c	فاصله‌ای روی تبدیل که عمق بحرانی روی آن رخ می‌دهد
L_{max}	فاصله‌ای روی تبدیل که بیشترین ارتفاع را دارد
p	فشار لحظه‌ای
\bar{p}	فشار متوسط
\dot{p}	نوسانات فشار لحظه‌ای
Q	دبی جریان
Q_c	دبی جریان در حالت بحرانی
Q_n	دبی جریان در حالت حرکت یکنواخت
S_f	شیب خط انرژی
S_0	شیب کف کانال

فهرست علامتها

<u>علامت</u>	<u>توضیح</u>
T	زمان
T_i	سازه‌ی تبدیل شماره‌ی i
u	سرعت لحظه‌ای در جهت طولی
\bar{u}	سرعت متوسط در جهت طولی
\acute{u}	نوسانات سرعت لحظه‌ای در جهت طولی
u_{rms}	جذر میانگین نوسانات سرعت در جهت طولی
U_l	سرعت متوسط اولیه‌ی جریان
v	سرعت لحظه‌ای در جهت قائم
\bar{v}	سرعت متوسط در جهت قائم
\acute{v}	نوسانات سرعت لحظه‌ای در جهت قائم
v_{rms}	جذر میانگین نوسانات سرعت در جهت قائم
w	سرعت لحظه‌ای در جهت عرضی
\bar{w}	سرعت متوسط در جهت عرضی
\acute{w}	نوسانات سرعت لحظه‌ای در جهت عرضی
w_{rms}	جذر میانگین نوسانات سرعت در جهت عرضی
X_i	نیروی ثقل در راستای محور i
x	فاصله‌ی طولی از مبدا
y	عمق جریان
y_i	عمق جریان در مقطع i
y_l	عمق اولیه‌ی جریان

فهرست علامتها

علامت

توضیح

y_{1d}	عمق اولیه‌ی جریان برای طراحی سازه‌ی تبدیل
y_2	عمق ثانویه و عمق پایاب به ترتیب در هنگام وقوع و حذف پرش
y_{2opt}	عمق بهینه‌ی پایین‌دست سازه‌ی تبدیل
Z_i	ارتفاع سازه‌ی تبدیل در مقطع i
Z_{max}	بیشینه‌ی ارتفاع سازه‌ی تبدیل
α	پارامتر مشخصه‌ی سازه‌ی تبدیل
ρ	چگالی
σ_i	تنش نرمال در راستای محور i
τ_{ij}	تنش برشی در صفحه‌ی گذرنده از محورهای ij
ν	لزجت سینماتیکی