به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی عمران

هیدرولیک جریان در حوضچه‌های آرامش شیب‌شکن‌های قائم مجهز به مستهلک‌کننده‌های شیاری– شبکه ای

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب

الهام بخشیان

استاد راهنما
دکتر عبدالرضا کبیری

زمستان ۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران – آب خانم الهام بخشیان

تحت عنوان

هیدرولیک جریان در حوضچه‌های آرامش شیب‌شکن‌های قائم مجهز به مستهلک‌کننده‌های شیاری–شبکه-ای

در تاریخ ۹۰/۱۱/۸ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱– استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر عبدالرضا کبیری
۲– استاد داور (اختیاری)	دکتر مسعود قدسیان
۳– استاد داور (اختیاری)	دکتر محمد رضا چمنی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر عبدالرضا کبیری

بـر خـود لازم مـی‌دانـم کـه از زحمـات بـی‌دریـغ و راهنمایی‌های ارزشمند آقای دکتر کبیری کـه اسـتاد راهنمای من در این پایان نامه بودند تشکر و قدردانـی نمایم.

از پدر و مادر و خواهر عزیزم کـه در تمـامی مراحـل زندگی پشتیبان و راهنمایم بودند و از هیچ کمکی دریغ ننمودند از صمیم قلب تشکر می کنم...

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این

پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان

است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول : مقدمه	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- مستهلک‌کننده‌های انرژی	۳
۱-۳- پرش هیدرولیکی	۳
۱-۴- حوضچه‌های آرامش	۴
۱-۵- شیب‌شکن‌ها	۵
۱-۵-۱- تقسیم‌بندی شیب‌شکن‌ها از لحاظ کاربرد	۶
۱-۵-۲- تقسیم‌بندی شیب‌شکن از نظر نوع جریان	۸
۱-۵-۳- انواع شیب‌شکن از لحاظ شکل هندسی	۹
۱-۶- حوضچه‌ی آرامش شیب‌شکن‌ها	۹
۱-۷- انواع دیگر سازه‌های استهلاک انرژی	۱۰
۱-۸- هدف پژوهش حاضر و ساختار پایان نامه	۱۱
فصل دوم : مروری بر پژوهش‌های گذشته	
۲-۱- مقدمه	۱۲
۲-۲- تاریخچه مطالعاتی	۱۲
۲-۲-۱- مروری بر مطالعات گذشته در زمینه‌ی هیدرولیک جریان در شیب‌شکن‌های قائم	۱۲
۲-۲-۲- مروری بر مطالعات گذشته در زمینه‌ی افزایش راندمان استهلاک انرژی در شیب‌شکن‌ها	۳۳
۲-۳- جمع‌بندی فصل	۴۰
فصل سوم : مدل آزمایشگاهی	
۳-۱- مقدمه	۴۱
۳-۲- کانال‌های آزمایشگاهی و تجهیزات مورد استفاده	۴۲
۳-۳- مدل‌های مستهلک‌کننده	۴۶
۳-۴- پارامترهای اندازه‌گیری شده	۴۸
۳-۴-۱- اندازه‌گیری دبی جریان	۴۹
۳-۴-۲- اندازه‌گیری عمق و انرژی در بالادست	۵۰
۳-۴-۳- اندازه‌گیری موقعیت مقطع بحرانی و عمق آب در لبه‌ی شیب‌شکن	۵۱

۳-۴-۴- اندازه‌گیری طول و عمق حوضچه‌ی ایجاد شده در پای شیب‌شکن ۵۲
۳-۴-۵- اندازه‌گیری عمق اولیه‌ی پرش ۵۲
۳-۴-۶- اندازه‌گیری عمق ثانویه‌ی پرش هیدرولیکی و پروفیل سرعت در این مقطع ۵۴
۳-۴-۷- اندازه‌گیری طول پرش ۵۴
۳-۴-۸- اندازه‌گیری فشار وارد بر کف ۵۵
۳- ۵- جمع‌بندی فصل سوم ۵۵
فصل چهارم : تحلیل نتایج
۴-۱- مقدمه ۵۶
۴-۲- مشاهدات آزمایشگاهی ۵۷
۴-۳- ارزیابی پارامترهای هیدرولیکی موثر در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری و شبکه‌ای ۵۸
۴-۳-۱- ارزیابی عمق حوضچه‌ی تشکیل شده در پای شیب‌شکن با مستهلک‌کننده ۵۹
۴-۳-۲- ارزیابی عمق حوضچه‌ی تشکیل شده در پای شیب‌شکن با مستهلک‌کننده ۶۲
۴-۳-۳- ارزیابی طول پرش هیدرولیکی در پای شیب‌شکن با مستهلک‌کننده ۶۴
۴-۳-۴- ارزیابی راندمان استهلاک انرژی در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده ۶۸
۴-۳-۵- ارزیابی فشار و نیروی عکس‌العمل سطح در راستای قائم در پایین‌دست شیب‌شکن ۷۲
۴-۴- نسبت عمق جریان در لبه‌ی شیب‌شکن به عمق بحرانی و محل تشکیل عمق بحرانی ۷۷
۴-۵- روابط تجربی به منظور تخمین پارامترهای هیدرولیکی ۷۷
۴-۵-۱- روابط تجربی برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری ۷۸
۴-۵-۲- روابط تجربی برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای.. ۸۱
۴-۶- طول بهینه‌ی مستهلک‌کننده‌ها ۸۵
۴-۶-۱- طول بهینه‌ی مستهلک‌کننده شیاری ۸۵
۴-۶-۲- طول بهینه‌ی مستهلک‌کننده شبکه‌ای ۸۷
۴-۷- مدل تحلیلی ۸۹
۴-۷-۱- مدل تحلیلی شیب‌شکن قائم با مستهلک‌کننده‌ی شیاری ۸۹
۴-۷-۲- محاسبه‌ی V ۹۱
۴-۷-۳- نحوه‌ی محاسبه‌ی زاویه‌ی θ ۹۲
۴-۷- ۴- نحوه‌ی محاسبه ی W ۹۳
۴-۷- ۵- نحوه‌ی محاسبه‌ی L_B ۹۳
۴-۷-۶- نحوه‌ی محاسبه‌ی L_P ۹۳
۴-۷- ۷- مدل تحلیلی شیب‌شکن قائم با مستهلک‌کننده‌ی ۹۴
۴-۷-۸- نحوه‌ی محاسبه‌ی V ۹۵

۴-۷-۹- نحوه‌ی محاسبه‌ی θ ۹۵
۴-۷-۱۰- نحوه‌ی محاسبه ی W ۹۶
۴-۷-۱۱- نحوه‌ی محاسبه‌ی L_d ۹۶
۴-۸- مقایسه‌ی نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی ۹۶
۴-۸-۱- طول استخر ایجاد شده در پای شیب‌شکن ۹۶
۴-۸-۲- عمق استخر ۹۷
۴-۸-۳- نیروی عکس‌العمل ۹۸
۴-۹- جمع بندی فصل چهارم ۹۹
فصل پنجم : جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۵-۱- مقدمه ۱۰۰
۵-۲- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۰۱
۵-۳- پیشنهادها ۱۰۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

شکل(۱-۱): اجزای حوضچه‌های آرامش ۵

شکل(۱- ۲): وضعیت جریان در شیب‌شکن قائم ۶

شکل(۱- ۳): وضعیت جریان در شیب‌شکن مایل ۶

شکل(۱- ۴): نمایی از شیب‌شکن لوله‌ای ۷

شکل(۱-۵): نمایی جانبی از شیب‌شکن به صورت سرریز پلکانی ۸

شکل(۱- ۶): نمایی از شیب‌شکن مایل با کف مانع‌دار ۸

شکل(۱- ۷): انواع شیب‌شکن از لحاظ شکل هندسی ۹

شکل(۱- ۸): پلان و نمای جانبی از حوضچه‌ی آرامش شیب‌شکن‌های قائم ۹

شکل(۱- ۹): انواع سازه‌های استهلاک انرژی مورد نظر جهت مطالعه در این تحقیق ۱۰

فصل دوم : مروری بر پژوهش‌های گذشته

شکل(۲-۱): نمایی از شیب‌شکن قائم در مطالعه‌ی باختمتف ۱۲

شکل(۲-۲): نمایی از برخورد جت با کف کانال پایین‌دست ۱۴

شکل(۲-۳): حجم کنترل استفاده شده توسط وایت ۱۵

شکل(۲-۴): شکل استفاده شده توسط رند برای محاسبه‌ی L_D ۱۷

شکل(۲-۵): داده‌های آزمایشگاهی افت انرژی در مقابل عمق بحرانی ۲۱

شکل(۲-۶): طرحی از وضعیت رژیم جریان در شیب‌شکن‌ها ۲۱

شکل(۲-۷): نمایی از وضعیت جریان در شیب‌شکن قائم ۲۲

شکل(۲-۸): مقایسه نتایج تئوری چمنی و بیرامی ۲۳

شکل(۲-۹): تصویری از جت لغزنده و استخر تشکیل شده در پای شیب‌شکن ۲۴

شکل(۲- ۱۰): طرحی از مدل جت‌سطحی و لایه‌ی برشی ۲۵

شکل(۲- ۱۱): تغییرات افت انرژی نسبی ۲۶

شکل(۲-۱۲): پروفیل جریان در شیب‌شکن قائم با شیب معکوس در بالادست ۲۹
شکل(۲-۱۳): شکل شماتیک طول چرخش و طول پرش ۳۱
شکل(۲- ۱۴): طرحی از شیب‌شکن‌های استوانه‌ای قدیمی ۳۴
شکل(۲- ۱۵): طرحی از شیب‌شکن به همراه سکویی در پای آن ۳۵
شکل(۲-۱۶): نمودار بررسی اثر سکو در پای شیب‌شکن بر افزایش راندمان استهلاک انرژی ۳۶
شکل(۲-۱۷): تغییرات افت انرژی نسبی ۳۶
شکل(۲-۱۸): مستهلک‌کننده‌ی شیاری پیشنهاد شده توسط USBR..... ۳۹

فصل سوم : مدل آزمایشگاهی

شکل(۳-۱): نمایی از کانال آزمایشگاهی (۱) ۴۳
شکل(۳- ۲): نمایی از کانال آزمایشگاهی(۲) ۴۵
شکل(۳-۳): نمایی مستهلک‌کننده‌های شبکه‌ای و شیاری ۴۷
شکل(۳-۴): پارامترهای هیدرولیکی اندازه‌گیری شده ۴۹
شکل(۳- ۵): نمایی از وضعیت جریان در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری ۵۳
شکل(۳ – ۶): طول درنظرگرفته شده به عنوان L_d در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای... ۵۴
شکل(۳ – ۷): نمایی از نحوه‌ی اتصال پیزومترها در کف کانال ۵۵

فصل چهارم : تحلیل نتایج

شکل(۴-۱): مقایسه‌ی Y_p/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری ۶۰
شکل(۴-۲): مقایسه‌ی Y_p/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۶۱
شکل(۴-۳): مقایسه‌ی Y_p/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۶۱
شکل(۴-۴): مقایسه‌ی Y_p/h در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری وشبکه‌ای با ۶۲
شکل(۴-۵): مقایسه‌ی L_p/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری ۶۳
شکل(۴-۶): مقایسه‌ی L_p/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۶۴
شکل(۴-۷): مقایسه‌ی L_p/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۶۴
شکل(۴-۸): مقایسه‌ی L_B/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری ۶۵
شکل(۴-۹): مقایسه‌ی L_B/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۶۶
شکل(۴-۱۰): مقایسه‌ی L_B/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۶۶
شکل(۴-۱۱): مقایسه‌ی L_B/h در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری وشبکه‌ای با ۶۷
شکل(۴-۱۲): وضعیت جریان در پایین‌دست شیب‌شکن ۶۸
شکل(۴-۱۳): نمودار تغییرات $\Delta E/E_0$ محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری ۶۹
شکل(۴-۱۴): مقایسه‌ی $\Delta E/E_0$ محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای..... ۷۰
شکل(۴-۱۵): مقایسه‌ی $\Delta E/E_0$ محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای..... ۷۰

شکل(۴-۱۶): مقایسه‌ی $\Delta E/E_0$ در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری وشبکه‌ای با ۷۱
شکل(۴- ۱۷): توزیع فشار در بستر پایین‌دست شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۴x۴ ..... ۷۲
شکل(۴ -۱۸): توزیع فشار در بستر پایین‌دست شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۴x۶ ..... ۷۳
شکل(۴- ۱۹): توزیع فشار در بستر پایین‌دست شیب‌شکن با ۷۳
شکل(۴- ۲۰): توزیع فشار در بستر پایین‌دست شیب‌شکن با ۷۴
شکل(۴- ۲۱): نمودار تغییرات $R_y/\rho gh^2$ محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری ۷۵
شکل(۴- ۲۲): نمودار تغییرات $R_y/\rho gh^2$ محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۷۶
شکل(۴- ۲۲): نمودار تغییرات $R_y/\rho gh^2$ محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۷۶
شکل(۴- ۲۴)مقایسه‌ی تغییرات $R_y/\rho gh^2$ شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای با شیاری ۷۷
شکل(۴-۲۵): مقایسه‌ی Y_p/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شیاری ۷۹
شکل(۴-۲۶): مقایسه‌ی L_p/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شیاری ۸۰
شکل(۴-۲۷): مقایسه‌ی $\Delta E/E_0$ محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شیاری ۸۰
شکل(۴-۲۸): مقایسه‌ی L_B/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شیاری ۸۱
شکل(۴- ۲۹): مقایسه‌ی $R_y/\rho gh^2$ محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شیاری ۸۱
شکل(۴-۳۰): مقایسه‌ی L_p/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شبکه‌ای ۸۳
شکل(۴-۳۱): مقایسه‌ی Y_p/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شبکه‌ای ۸۳
شکل(۴-۳۳): مقایسه‌ی L_d/h محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شبکه‌ای ۸۴
شکل(۴-۳۲): مقایسه‌ی $\Delta E/E_0$ محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شبکه‌ای ۸۴
شکل(۴- ۳۴): مقایسه‌ی $R_y/\rho gh^2$ محاسبه شده شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شبکه‌ای ۸۵
شکل(۴- ۳۵): نمودار تغییرات L_G/B نسب به ۸۶
شکل(۴- ۳۶): مقایسه‌ی L_G محاسبه شد با ۸۶
شکل(۴- ۳۷): مقایسه‌ی L_G محاسبه شد با ۸۷
شکل(۴- ۳۸): نمودار تغییرات L_N/B نسب به ۸۶
شکل(۴- ۳۹): مقایسه‌ی L_N محاسبه شد با ۸۶
شکل(۴-۴۰): فرم کلی هیدرولیک جریان در شیب‌شکن قائم با مستهلک‌کننده‌ی شیاری ۹۰
شکل(۴- ۴۱): نمایی حجم کنترل در نظر گرفته شده برای رابطه‌ی مومنتم در راستای قائم ۹۰
شکل(۴-۴۲): توزیع سرعت در حد فاصل بین اولین و آخرین نقطه‌ی برخورد جت با سطح پرش ۹۱
شکل(۴-۴۳): نمایی از وضعیت جریان در هنگام عبور از روی لبه‌ی شیب‌شکن و ریزش ۹۲
شکل(۴-۴۴): حجم کنترل در نظر گرفته شده برای محاسبه‌ی W ۹۳
شکل(۴- ۴۵): طرحی از جریان ریزشی از لبه‌ی شیب‌شکن ۹۴
شکل(۴-۴۶) :مدلسازی وضعیت جریان در شیب‌شکن قائم با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۹۵

شکل(۴- ۴۷) :نمایی از وضعیت جریان ریزشی بر سر پرش هیدرولیکی در شیب‌شکن قائم با ۹۵
شکل(۴- ۴۸): حجم کنترل در نظر گرفته شده برای محاسبه‌ی W ۹۶
شکل(۴- ۴۹): مقایسه‌ی L_p محاسبه شده برای شیب‌شکن با ۹۷
شکل(۴- ۵۰): مقایسه‌ی Y_p محاسبه شده برای شیب‌شکن با ۹۸
شکل(۴- ۵۱): مقایسه‌ی R_y محاسبه شده برای شیب‌شکن با ۹۹

فهرست تصاویر

عنوان **صفحه**

فصل سوم : مدل آزمایشگاهی

تصویر(۳-۱): نمای جانبی از فلوم شماره‌ی (۱) ۴۲

تصویر(۳-۲): نمایی از مخزن خروجی و سر ریز مثلثی انتهای کانال (۱) ۴۳

تصویر(۳-۳): نمایی از فلوم آزمایشگاهی شماره‌ی (۲) ۴۵

تصویر(۳-۴): نمایی مخازن انتهایی کانال پایین دست ۴۶

تصویر(۳-۵): نمایی از مستهلک‌کننده‌های استفاده شده در آزمایش‌ها ۴۶

تصویر(۳-۶): نمایی از سرعت سنج دوپلر صوتی ۵۱

تصویر(۳-۷): نمایی حوضچه‌ی تشکیل شده در پای شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شیاری ۵۲

تصویر(۳-۸): نمایی از وضعیت جریان در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شیاری ۵۳

تصویر(۳-۹): نمایی از وضعیت جریان در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده شبکه‌ای ۵۳

فصل چهارم : تحلیل نتایج

تصویر(۴-۱): نمونه ای از وضعیت جریان در شیب‌شکن‌هایی با مستهلک‌کننده‌ی شیاری ۵۷

تصویر(۴-۲): نمونه ای از وضعیت جریان در شیب‌شکن‌هایی با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای ۵۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل دوم : مروری بر پژوهش‌های گذشته

جدول (۲-۱): مقادیر η و Γ برای تعیین طول پرش در مقطع ذوزنقه‌ای ۳۳

فصل سوم : مدل آزمایشگاهی

جدول(۳-۱): اطلاعات مستهلک‌کننده‌های شبکه‌ای ارزیابی شده در این پژوهش ۴۷

جدول(۳-۲): اطلاعات مستهلک‌کننده‌های شیاری ارزیابی شده در این پژوهش ۴۷

جدول(۳-۳): اطلاعات آزمایش‌های اولیه انجام شده بر روی فلوم (۱) ۴۸

جدول(۳-۴): اطلاعات آزمایش‌های نهایی انجام شده بر روی فلوم (۲) ۴۸

جدول(۳-۵) : مقایسه‌ی دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسبه شده در فلوم شماره‌ی (۱) ۴۹

جدول(۳-۶): مقایسه‌ی دبی‌های قرائت شده با روش‌های مختلف در فلوم شماره‌ی (۲) ۵۰

فهرست علائم

B: عرض کانال

h: ارتفاع شیب‌شکن

Q: دبی جریان

q: دبی جریان در واحد عرض

Y_c: عمق بحرانی در بالادست شیب‌شکن

L_p: طول حوضچه تشکیل شده در پای شیب‌شکن

Y_p: عمق حوضچه تشکیل شده در پای شیب‌شکن

Y_0: عمق جریان در لبه‌ی شیب‌شکن

Fr_0: عدد فرود در بالادست شیب‌شکن

Y_1: عمق جریان در پایین‌دست شیب‌شکن

V_1: سرعت جریان در پایین‌دست شیب‌شکن

E_1: هد انرژی کل در پایین‌دست شیب‌شکن

Q_1: دبی جریان در پایین‌دست شیب‌شکن

Q_f: دبی برگشتی جریان

V_m: سرعت جت ریزشی در لحظه‌ی برخورد با سطح جریان پایین‌دست

V_x: سرعت جریان در راستای x

θ: زاویه‌ی برخورد جت ریزشی با کف استخر

β: زاویه‌ی کف کانال پایین‌دست با راستای افق

C: ضریب سرعت برای اعمال افت انرژی

S_0: شیب کانال پایین‌دست

λ : نسبت سرعت جریان در لبه‌ی شیب‌شکن به سرعت جریان در پایین‌دست

t: اختلاف تراز سطح جریان در کانال پایین‌دست به کف لبه‌ی شیب‌شکن

d_j: قطر جت ریزشی در لحظه‌ی برخورد با سطح حوضچه تشکیل شده در پای شیب‌شکن

D: عدد بی بعد شیب شکن

Y_2: عمق ثانویه‌ی پرش هیدرولیکی تشکیل شده در پای شیب‌شکن

Y_{up}: عمق جریان در بالادست شیب‌شکن

Fr_{up}: عدد فرود در بالادست شیب‌شکن

L_d: فاصله‌ی محل تشکیل انتهای پرش نسبت به پای شیب‌شکن

L_B: طول پرش هیدرولیکی

L_D: طول شیب‌شکن

E_0: هد انرژی کل در مقطع بالادست شیب شکن با عمق بحرانی

ΔE: افت انرژی بین مقطع بالادست و پایین‌دست شیب‌شکن

ΔZ: اختلاف ارتفاع بین کف کانال بالادست و پایین‌دست در شیب‌شکن استوانه‌ای

h_s: ارتفاع سکو قرار داده شده در پای شیب‌شکن

R_y: نیروی عکس العمل سطح حجم کنترل در نظر گرفته شده در راستای قائم در پایین‌دست شیب‌شکن

W: وزن حجم کنترل مشخصی از جریان

w: عرض شیارهای مستهلک‌کننده‌ی شیاری

L_G: طول مستهلک‌کننده‌ی شیاری

B: بعد شبکه‌های مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای عمود بر راستای جریان

a: بعد شبکه‌های مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای در راستای جریان

N: تعداد شبکه‌هایی که جریان از روی مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای عبور می‌نماید

P : فشار

ΔE_j: افت انرژی ناشی از پرش هیدرولیکی

چکیده

تغییرات ناگهانی توپوگرافی بستر، تنداب‌ها و عواملی که سبب ایجاد تغییرات ناگهانی عمق جریان می‌شوند، عامل ایجادکننده‌ی انرژی جنبشی مخرب اضافی در جریان عبوری از کانال‌ها هستند. انرژی مخرب جریان می‌تواند سبب ایجاد آب‌شستگی و فرسایش بستر کانال و تخریب سازه‌های پایین‌دست شود. یکی از عواملی که سبب بروز این پدیده می‌شود، وجود شیب‌شکن‌های قائم در مسیر جریان عبوری از کانال‌ها است. در این تحقیق با قراردادن مستهلک‌کننده‌های شیاری و شبکه‌ای بر روی تاج شیب‌شکن قائم میزان استهلاک انرژی و وضعیت پرش‌هیدرولیکی ایجاد شده درون حوضچه‌آرامش در مقایسه با شرایط عدم استفاده از سازه‌های مورد اشاره در یک شیب‌شکن قائم ساده، بررسی و میزان بهبود راندمان سیستم در اثر حضور این سازه‌ها، به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرارگرفته است. هدف از اضافه‌نمودن این سازه‌ها به سیستم، تغییر جهت جریان، استهلاک بیشتر انرژی و کاهش طول حوضچه‌های‌آرامش بوده‌است.

این مطالعه شامل دو بخش آزمایشگاهی و تحلیلی است. آزمایش‌ها بر روی سه شیب‌شکن قائم با پنج مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای با ابعاد شبکه‌های متفاوت و سه مستهلک‌کننده‌ی شیاری با ابعاد شیارهای متفاوت انجام شده است. آزمایش‌ها در محدوده‌ی نسبت عمق بحرانی به ارتفاع شیب شکن (Y_c/h) برابر با ۰/۱۴ تا ۰/۳۲۵ صورت گرفته است. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، روابطی تجربی برای تخمین عمق و طول استخر تشکیل شده در پای شیب‌شکن، نیروی عکس‌العمل سطح، طول بهینه‌ی مستهلک‌کننده‌ها و افت انرژی پیشنهاد شده است. مدل تحلیلی ارائه شده برای شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری با نتایج آزمایشگاهی همخوانی خوبی داشته است. با استفاده از نتایج و فرضیات محققین پیشین و نیز با در نظر گرفتن فرضیات جدید مدلی نیمه تحلیلی برای تخمین پارامترهای ذکر شده در بالا ارائه شده است. در مدل تحلیلی ارائه شده برای شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای نتایج بدست آمده با نتایج آزمایشگاهی اختلاف دارد. علت این امر می تواند آشفتگی جریان در اثر برخورد جت‌های ریزشی با سطح پرش و عدم لحاظ نمودن حباب‌های ورودی به جریان و هندسه‌ی مستهلک‌کننده باشد. در نهایت در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری راندمان استهلاک انرژی تا ۳۰ درصد و در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه‌ای راندمان استهلاک انرژی تا ۴۵ درصد نسبت به حالت شیب‌شکن فاقد مستهلک‌کننده، افزایش یافته است. همچنین در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شیاری طول پرش هیدرولیکی بین ۳۰ تا ۳۵ درصد و در شیب‌شکن با مستهلک‌کننده‌ی شبکه-ای طول پرش هیدرولیکی بین ۶۰ تا۷۵ درصد نسبت به حالت بدون مستهلک‌کننده، کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: استهلاک انرژی، پرش هیدرولیکی، شیب‌شکن قائم، مستهلک‌کننده شیاری و مستهلک‌کننده شبکه‌ای

فصل اول- پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

انسان از زمان‌های بسیار دور تاکنون از آب در موارد مختلف نظیر کشاورزی، شرب، صنعت، تولید برق و حمل و نقل بهره جسته است. به دلیل توزیع ناهمگون آب در سطح کره‌ی زمین و عدم دسترسی به آب کافی برای رفع نیازهای بشر از لحاظ کمی و کیفی و به منظور بهره‌برداری از منابع آب‌سطحی و زیرزمینی انسان به فکر انتقال آب از مکانی به مکان دیگر افتاد. با گسترش تکنولوژی امروزه نیاز انسان‌ها به آب درحال افزایش است و آب یکی از عوامل مهم پیشرفت جوامع مختلف به حساب می‌آید. بنابراین باید از لحاظ تکنیکی و اقتصادی شرایط آسان و پربازده برای طراحی پروژه‌های عظیم انتقال آب فراهم شود. در حال حاضر بهره‌برداری بهینه و انتقال مناسب آب از دو جنبه‌ی اقتصادی و فنی و جلوگیری از هدر رفتن آب از زمینه‌های اصلی تحقیق در مهندسی آب هستند. در میان روش‌های مختلف انتقال آب، با الهام از طبیعت و جریان رودخانه‌ها، استفاده از نیروی ثقل و به حرکت درآوردن آب به صورت جریانی با سطح آزاد از طریق ایجاد کانال‌ها و استفاده از سازه‌های هیدرولیکی مربوطه از قبیل تنداب‌ها، شیب‌شکن‌ها، سرریزها، سیفون‌ها و سایر با توجه به شرایط منطقه‌ای یکی از متداول‌ترین روش‌های انتقال است. همزمان با انتقال ثقلی آب خواسته یا ناخواسته تحت شرایطی انرژی جنبشی جریان افزایش می‌یابد. این موضوع در محل احداث شیب‌شکن‌ها و تنداب‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا انرژی جنبشی اضافه آب می‌تواند سبب بروز خسارت‌های زیادی در تأسیسات هیدرولیکی پایین‌دست گردد. لذا لازم است با اتخاذ راه‌کارهای مناسب از جمله استفاده از سازه‌های استهلاک انرژی، انرژی جنبشی مخرب جریان کنترل گردد. یکی از روش‌های مناسب استهلاک انرژی جنبشی جریان استفاده از حوضچه‌های پرش هیدرولیکی است.

در این پایان‌نامه به ارائه روشی برای افزایش راندمان استهلاک انرژی شیب‌شکن‌های احداثی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی پرداخته خواهد شد. لذا در این فصل به شرح انواع مختلف سازه‌های استهلاک انرژی و هدف از استفاده از آن‌ها در سیستم‌های انتقال آب پرداخته می‌شود. در ادامه، پدیده‌ی پرش هیدرولیکی و انواع آن و روش‌های مهار این پدیده مورد بحث قرار می‌گیرد و سپس شیب‌شکن‌ها و انواع آنها معرفی و ویژگی‌های هیدرولیکی آنها شرح داده می‌شود.

۱- ۲- مستهلک کننده‌های انرژی[1]

از کانال‌ها و کالورت‌ها برای انتقال آب از مکانی به مکان دیگر استفاده می‌شود. در برخی موارد به علت ویژگی‌های توپوگرافی خاص منطقه، شیب کانال یا کالورت تند شده و سرعت جریان و در نتیجه انرژی جنبشی جریان به شدت افزایش می‌یابد. انرژی بالای آب سبب آب‌شستگی و فرسایش بستر کانال می‌شود. به منظور از بین بردن انرژی مخرب آب، عموما از سازه‌هایی به نام مستهلک‌کننده‌های انرژی در پایین‌دست جریان استفاده می‌شود. عموما از دو روش برای استهلاک انرژی اضافه‌ی جریان استفاده می‌شود. در روش اول سازه‌های استهلاک انرژی با ایجاد پرش هیدرولیکی همراه با آشفتگی شدید جریان، انرژی مخرب جریان را مستهلک نموده و جریان را آرام می‌نمایند. این سازه‌ها با ایجاد تغییراتی موضعی در عرض و یا ارتفاع کانال سبب آشفتگی و استهلاک شدید انرژی جنبشی مخرب جریان می‌گردند. در روش دوم از سازه‌هایی با قابلیت پرتاب آب به نقطه‌ای دوردست در پایین‌دست استفاده می‌شود. در حین پرتاب، جت آب به ذراتی کوچک تقسیم و در بررخود با هوا و بازگشت به زمین مقدار زیادی از انرژی خود را از دست می‌دهد. از جمله سازه‌هایی که به منظور استهلاک انرژی در کانال‌ها و کالورت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به شیب‌شکن‌ها، حوضچه‌های آرامش همراه با پرش هیدرولیکی، ایجاد برآمدگی و یا پایین‌افتادگی موضعی در کانال و موارد دیگر اشاره نمود[۱].

۱-۳- پرش هیدرولیکی[2]

پرش هیدرولیکی، از نوع جریان‌های متغیر سریع بوده که طی این پدیده جریان از حالت فوق بحرانی به حالت زیربحرانی تبدیل می‌شود و از مشخصه‌های فیزیکی این پدیده، افزایش ناگهانی و قابل ملاحظه‌ی عمق جریان در فاصله‌ی نسبتا کوتاهی از مسیر است. تلاطم و پیچش سطحی مشاهده شده از ابتدا تا انتهای پرش به تناسب شدت پرش، به تدریج به سمت انتهایی پرش، کاهش می‌یابد. به علت آشفتگی و تلاطم شدید جریان، در اثر برخورد ذرات آب با هوا مقداری هوا با آب در قسمت‌های سطحی مخلوط شده که به سمت پایین‌دست منتقل و نهایتا به شکل حباب‌های هوا رها می‌گردد [۱]. از کاربردهای پرش هیدرولیکی می‌توان به کاهش انرژی آب در جریان عبوری از روی سازه‌های هیدرولیکی به منظور جلوگیری از خسارت و جلوگیری از فرسایش شدید بستر در کانال‌های پایین‌دست، افزایش سطح آب در کانال‌ها به منظور انحراف آن، افزایش دبی خروجی از زیر دریچه‌ها با افزایش ارتفاع موثر در عرض دریچه، کاهش زیرفشار در سازه‌های آبی با افزایش عمق آب در محدوده‌ی سازه، ایجاد مقطع کنترل به‌منظور اندازه‌گیری دبی جریان، هوادهی جریان، مخلوط نمودن مواد شیمیایی جهت تصفیه‌ی آب و یا جهت مصارف کشاورزی و دیگر موارد اشاره نمود.

عدد فرود در مقطع اولیه پرش‌هیدرولیکی بیانگر وضعیت کلی پرش است. انواع پرش هیدرولیکی بر مبنای عدد فرود جریان ورودی به حوضچه‌ی آرامش به شرح زیر طبقه بندی می‌شوند:

---

[1] Energy Dissipators
[2] Hydraulic Jump

الف) به ازای عدد فرود در محدوده‌ی ۱ تا ۱/۷ پرش موجی شکل[1] تشکیل می‌شود.
ب) برای اعداد فرود در مقطع اولیه‌ی پرش در محدوده‌ی ۱/۷ تا ۲/۵ پرش ضعیف[2] شکل می‌گیرد.
ج) به‌ازای اعداد فرود در محدوده‌ی ۲/۵ تا ۴/۵ مقطع اولیه‌ی پرش نوسانات شدید و نامنظمی در سطح پرش ایجاد و تا فاصله دوری امتداد می‌یابد، این نوع پرش، پرش نوسانی و یا ضربه ای[3] نامیده می‌شود.
د) به ازای اعداد فرود در مقطع اولیه‌ی پرش در محدوده ۴/۵ تا ۹ پرش کامل ایجاد می‌شود که به نام پرش دائمی[4] نیز معروف است.
هـ) به ازای اعداد فرود بزرگتر از ۹، پرش قوی[5] شکل می‌گیرد.
همانطور که اشاره شد یکی از روش‌های مناسب استهلاک انرژی اضافه جریان بهره‌گیری از حوضچه‌های آرامش همراه با پرش هیدرولیکی است.

۱-۴- حوضچه‌های آرامش

هنگامی که پرش هیدرولیکی بر روی سطحی افقی اتفاق می‌افتد، اعمال کوچکترین تغییراتی در اعماق جریان بالادست و پایین‌دست می‌تواند سبب تغییر مکان پرش به یکی از دو سمت بالادست و پایین‌دست شود و چنانچه قرار باشد پرش در محدوده‌ی خاصی اتفاق افتد و حساسیت آن در برابر نوسانات عمق جریان محدود گردد، از حوضچه‌های آرامش استفاده می‌شود. حوضچه‌های آرامش در پایین‌دست سرریزها و یا هر سازه‌ای که در پایین‌دست جریان فوق بحرانی ایجاد نماید، ساخته می‌شوند. هدف از ساخت حوضچه‌های آرامش محدود نمودن طول پرش در محدوده‌ی کف‌سازی شده‌ی حوضچه است. به طوریکه جریان فوق بحرانی پس از عبور از محدوده‌ی کف سازی شده‌ی حوضچه‌های آرامش به صورت جریان زیر بحرانی درآمده و از انرژی جنبشی فوق‌العاده آن کاسته شود. با توجّه به شکل (۱-۱) حوضچه‌های آرامش دارای اجزایی مانند؛ بلوک‌های پای تنداب (که در محل تغییر شیب و ابتدای کف افقی ساخته می‌شوند)، آب پایه (که به صورت دندانه‌دار و یا منفرد در انتهای حوضچه ساخته می‌شود) و بلوک‌های آرام‌کننده (که در قسمت میانی حوضچه به منظور اتلاف بیشتر انرژی به طور متمرکز اجرا می‌شوند) هستند [۱].

---

[1] Undular Jump
[2] Weak Jump
[3] Oscillating Jump
[4] Steady Jump
[5] Strong Jump