





دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

دانشکده مهندسی آب و خاک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته
سازه‌های آبی

شبیه‌سازی عددی جریان از روی سرریز جانبی لبه‌پهن با استفاده از مدل FLOW-3D

پژوهش و نگارش

ریحانه قنادان

استاد راهنما

دکتر عبدالرضا ظهیری

اساتید مشاور

دکتر مهدی کاهه

مهندس محمدصادق جلال‌الدینی

زمستان ۱۳۹۱

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت های علمی - پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به موارد ذیل متعهد می شوند:

۱) قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.

۲) در انتشار نتایج پایان نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

۳) انتشار نتایج پایان نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب ریحانه قنادان دانشجوی رشته سازه های آبی مقطع کارشناسی ارشد تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می شوم.

تقدیم:

برک برک این رساله تقدیم به پروبال زندکیم، پدر و مادر عزیزم که سرمایه‌ی جاودانی زندگی من هستند.

پرواز به جزبال و پر، آسمان نیرمی خواهد، تقدیم به آسمان پروازم، همسر مهربانم
که بی وجودش زندکیم رنگ و بوی امروز را گذاشت.

و در پایان، تقدیم به همراه روزهای تنهایی و سختی ام، خواهر خوبم
او که لایق واژه دوست داشتن است.

شکر و قدردانی

به مصداق «من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق» بسی شایسته است

از استاد فریخته و فرزانه جناب آقای دکتر عبدالرضا ظهیری به عنوان استاد راهنما و جناب آقای دکتر مهدی کابره و جناب آقای مهندس محمد صادق جلال الدینی به عنوان اساتید مشاور که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم دانش را با راهنمایی های کارساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و شکر نمایم. در نهایت شکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مراد به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند، دارم.

چکیده

سرریزهای جانبی از انواع سازه‌های هیدرولیکی می‌باشند که با اهداف مختلف در سیستم‌های انتقال آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. جریان در سرریزهای جانبی تاکنون موضوع بررسی بسیاری از پژوهش‌ها بوده است. اغلب این مطالعات بر روی سرریزهای لبه‌تیز متمرکز بوده، در حالی که سرریزهای جانبی لبه‌پهن علاوه بر کاربرد به عنوان یک سازه اندازه‌گیری مناسب، به دلیل ایجاد پایداری بیشتر در سیستم‌های کنترل و پخش سیلاب نیز نسبت به سرریزهای لبه‌تیز گزینه مناسب‌تری می‌باشد. مطالعات انجام شده در زمینه سرریزهای جانبی لبه‌پهن بسیار محدود بوده و لزوم انجام تحقیقات در این زمینه بیشتر احساس می‌شود. در این پایان‌نامه با توجه به کاربرد و اهمیت سرریزهای جانبی لبه‌پهن، با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D جریان در کانال آبرسان و سرریز جانبی لبه‌پهن شبیه‌سازی شده و با انجام مراحل واسنجی، نتایج حاصل از این مدل ریاضی با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است. در این مطالعه، از نتایج آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده خاک و آب‌خیزداری ایران استفاده شده است. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد که از میان مدل‌های تلاطمی موجود در این نرم‌افزار شامل مدل طول اختلاط پراوتل، مدل تک‌معادله‌ای، دو معادله‌ای $k-\epsilon$ ، دو معادله‌ای $k-\epsilon$ و روش گردابه‌ای بزرگ (LES)، مدل تلاطمی $k-\epsilon$ از دقت بالاتری برای شبیه‌سازی دبی عبوری از سرریز جانبی برخوردار است. بر اساس این مقایسه‌ها، درصد میانگین و حداکثر خطای نسبی مدل ریاضی در برآورد دبی عبوری از سرریز به ترتیب $7/62$ و $15/3$ بدست آمده است که دقت و کارایی مناسب این نرم‌افزار را نشان می‌دهد. این مقادیر برای رابطه رانگاراچو و همکاران (۱۹۷۹) به ترتیب $8/85$ و $6/98$ محاسبه شده است. همچنین با استفاده از مدل ریاضی واسنجی شده، اثر تغییر ارتفاع و پهنای تاج سرریز بر دبی عبوری از سرریز مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس نتیجه شد که ارتفاع تاج سرریز جانبی لبه‌پهن بر مقدار دبی خروجی از سرریز نسبت به پهنای تاج مؤثرتر است.

کلمات کلیدی: سرریز جانبی لبه‌پهن، دبی عبوری از سرریز، مدل‌سازی عددی، نرم‌افزار FLOW-3D

فصل اول: مقدمه و کلیات

۲	۱-۱ مقدمه.....
۲	۲-۱ سرریزها.....
۳	۳-۱ سرریزهای جانبی.....
۴	۱-۳-۱ جریان روی سرریزهای جانبی.....
۴	۱-۳-۱-۱ جریان متغیر مکانی.....
۷	۴-۱ تقسیم‌بندی سرریزها.....
۷	۱-۴-۱ سرریزهای لبه تیز.....
۷	۲-۴-۱ سرریزهای لبه پهن.....
۸	۵-۱ ضرورت انجام تحقیق.....
۱۰	۶-۱ فرضیات تحقیق.....
۱۱	۷-۱ اهداف تحقیق.....
۱۱	۸-۱ ساختار کلی پایان‌نامه.....

فصل دوم: پیشینه تحقیق

۱۴	۱-۲ مقدمه.....
۱۴	۲-۲ مطالعات انجام شده در زمینه سرریزها.....
۲۷	۳-۲ مطالعات انجام شده توسط نرم‌افزار FLOW-3D.....

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳۰	۱-۳ مقدمه.....
۳۱	۲-۳ معرفی نرم‌افزار FLOW-3D.....
۳۳	۱-۲-۳ شبیه‌سازی هندسی.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۳	۲-۲-۳ معادلات حاکم بر جریان
۳۴	۳-۲-۳ مدل‌های آشفته‌گی
۳۶	۱-۳-۲-۳ فرضیه بوزینسک
۳۸	۳-۳ مراحل شبیه‌سازی عددی
۳۹	۱-۳-۳ ایجاد هندسه مدل مورد بررسی
۳۹	۲-۳-۳ چگونگی و معیارهای ایجاد شبکه‌بندی حل معادلات جریان
۴۰	۳-۳-۳ تعیین شرایط مرزی و اولیه
۴۱	۴-۳-۳ تعیین خصوصیات فیزیکی حاکم بر جریان
۴۱	۵-۳-۳ زمان اجرای مدل
۴۳	۴-۳ مشخصات هندسی مدل فیزیکی مورد بررسی
۴۵	۱-۴-۳ سیستم اندازه‌گیری دبی خروجی از سرریز جانبی
۴۶	۲-۴-۳ سیستم اندازه‌گیری عمق آب

فصل چهارم: نتایج

۴۸	۱-۴ مقدمه
۴۸	۲-۴ واسنجی و صحت‌سنجی مدل عددی
۴۸	۱-۲-۴ تولید و تنظیم شبکه‌بندی میدان حل (مش‌بندی)
۵۱	۲-۲-۴ واسنجی مدل ریاضی
۵۱	۱-۲-۲-۴ انتخاب زبری بستر
۵۲	۲-۲-۲-۴ انتخاب مدل تلاطمی
۵۵	۳-۴ تعیین دبی عبوری از سرریز جانبی در مدل عددی
۵۵	۴-۴ بررسی اثر ابعاد سرریز جانبی لبه‌پهن بر هیدرولیک جریان
۵۵	۱-۴-۴ اثر تغییر پهنای تاج سرریز جانبی لبه‌پهن

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۷	۲-۴-۴ اثر تغییر ارتفاع تاج سرریز جانبی لبه پهن.....
۵۸	۵-۴ بررسی دقت نتایج رابطه رانگ راجو و همکاران (۱۹۷۹).....
۶۰	۶-۴ توصیف نتایج مدل FLOW-3D.....
۶۰	۱-۶-۴ بررسی پروفیل سطح آب در مدل عددی.....
۶۲	۲-۶-۴ الگوی جریان عبوری از روی سرریز.....
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها	
۶۸	۱-۵ مقدمه.....
۶۸	۲-۵ نتیجه‌گیری.....
۷۰	۳-۵ پیشنهادها.....
۷۲	منابع.....

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱ نمای یک سرریز جانبی لبه‌تیز.....
۴	شکل ۲-۱ پلان یک سرریز جانبی لبه‌پهن.....
۵	شکل ۳-۱ شمای یک سرریز کناری.....
۱۰	شکل ۴-۱ فلوم آزمایشگاهی.....
۱۶	شکل ۱-۲ نمای کلی یک سرریز جانبی الف) نمای مقطع سرریز، ب) پلان سرریز جانبی (سابرامانیا و آواستی، ۱۹۷۲).....
۱۷	شکل ۲-۲ پلان سرریزهای جانبی لبه‌تیز (رانگاراگو و همکاران، ۱۹۷۹).....
۱۷	شکل ۳-۲ پلان و نمای سرریز جانبی لبه‌پهن (رانگاراگو و همکاران، ۱۹۷۹).....
۱۹	شکل ۴-۲ سرریز جانبی با ورودی گردگوشه (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹).....
۱۹	شکل ۵-۲ نمای شماتیک سرریز لیبرانت جانبی به کار رفته در کانال مستقیم (امیراقلو و همکاران، ۲۰۱۰).....
۲۲	شکل ۶-۲ کانال آزمایشگاهی و سرریز شیب‌دار (فرهودی و همکاران، ۱۳۸۶).....
۲۳	شکل ۷-۲ نمای شماتیک سرریز جانبی لبه‌پهن الف) پلان ورودی تیزگوشه، ب) پلان ورودی گردگوشه.....
۲۴	شکل ۸-۲ طرح شماتیک سرریز استوانه‌ای در فلوم آزمایشگاهی (ورجانند و همکاران، ۱۳۸۹).....
۲۵	شکل ۹-۲ نمایی از سرریز جانبی لبه‌تیز ترکیبی با مقطع مستطیلی - مستطیلی در آزمایشات (باقری، ۱۳۹۱).....
۳۹	شکل ۱-۳ مش‌بندی غیریکنواخت در کانال.....
۴۰	شکل ۲-۳ مش‌بندی در مقطع عرضی کانال اصلی.....
۴۱	شکل ۳-۳ شرایط مرزی اعمال شده فلوم مورد بررسی.....
۴۲	شکل ۴-۳ نمودار تغییرات زمانی حجم سیال در محدوده شبکه.....
۴۲	شکل ۵-۳ نمودار تغییرات زمانی سطح آزاد سیال در محدوده شبکه.....
۴۳	شکل ۶-۳ نمودار نمودار تغییرات زمانی متوسط انرژی جنبشی.....

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۳-۷ نمودار نمودار تغییرات زمانی متوسط انرژی تلاطمی	۴۳
شکل ۳-۸ نمای شماتیک فلوم آزمایشگاهی	۴۴
شکل ۳-۹ فلوم آزمایشگاهی	۴۵
شکل ۳-۱۰ سرریز لبه تیز مستطیلی پایین دست کانال تخلیه	۴۵
شکل ۳-۱۱ عمق سنج نقطه‌ای مورد استفاده در آزمایشگاه	۴۶
شکل ۴-۱ شبکه بندی میدان حل در محدوده بالادست کانال اصلی، سرریز جانبی و پایین دست کانال اصلی ...	۴۹
شکل ۴-۲ بررسی اثر انتخاب ابعاد شبکه بر یکی از متغیرهای خروجی مدل (دبی خروجی از سرریز جانبی)	۵۰
شکل ۴-۳ بررسی اثر زبری بستر بر مقدار عمق نرمال بالادست	۵۱
شکل ۴-۴ مقایسه منحنی دبی-اشل آزمایشگاهی و عددی برای دو مدل تلاطمی	۵۳
شکل ۴-۵ نمودار محاسبه مقادیر دبی عددی و آزمایشگاهی با اعمال دو مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG و $k-\epsilon$ استاندارد	۵۴
شکل ۴-۶ اثر تغییر پهنای تاج سرریز بر دبی خروجی از سرریز جانبی لبه پهن	۵۶
شکل ۴-۷ اثر تغییرات ارتفاع تاج سرریز بر دبی خروجی از سرریز	۵۸
شکل ۴-۸ نمودار مقایسه مقادیر محاسباتی (نتایج مدل ریاضی FLOW-3D و رابطه رانگ راجو و همکاران (۱۹۷۹)) با داده‌های آزمایشگاهی دبی خروجی از سرریز جانبی لبه پهن	۵۹
شکل ۴-۹ نمودار پروفیل سطح آب در محدوده طول سرریز با ارتفاع تاج $P=8\text{ Cm}$ و پهنای تاج $W=22\text{ Cm}$	۶۱
شکل ۴-۱۰ نمودار پروفیل سطح آب در محدوده طول سرریز با ارتفاع تاج $P=8\text{ Cm}$ و پهنای تاج $W=45\text{ Cm}$	۶۱
شکل ۴-۱۱ خطوط جریان در لایه پایین تر از لبه سرریز جانبی	۶۲
شکل ۴-۱۲ خطوط جریان در لایه بالاتر از لبه سرریز	۶۳
شکل ۴-۱۳ (الف-ی) شبیه سازی پروفیل سطح آب در دهانه سرریز جانبی لبه پهن در گام‌های زمانی مختلف	۶۵

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ روابط پیشنهاد شده برای محاسبه ضریب تخلیه سرریزهای جانبی مستطیلی.....	۲۶
جدول ۱-۳ ویژگی‌های نرم‌افزار FLOW-3D.....	۳۱
جدول ۲-۳ شرایط مرزی اعمال شده در مدل ریاضی.....	۴۰
جدول ۳-۳ مشخصات هندسی کانال آزمایشگاهی.....	۴۴
جدول ۳-۴ داده‌های آزمایشگاهی.....	۴۴
جدول ۱-۴ نتایج مراحل تغییر ابعاد شبکه در ناحیه سرریز.....	۵۰
جدول ۲-۴ مشخصات شبکه بهینه کانال و تعداد سلول‌ها در هر راستا.....	۵۱
جدول ۳-۴ مقادیر عددی و آزمایشگاهی عمق نرمال بالادست.....	۵۲
جدول ۴-۴ مقادیر عددی و آزمایشگاهی دبی خروجی از سرریز جانبی.....	۵۲
جدول ۵-۴ مقایسه شاخص‌های آماری برای دبی خروجی از سرریز با اعمال دو مدل تلاطمی... ..	۵۴
جدول ۶-۴ مقادیر دبی خروجی از سرریز به ازای پهناهای مختلف تاج سرریز برای دبی ورودی Q=93 lit/s و ارتفاع ثابت p=5 Cm.....	۵۵
جدول ۷-۴ مقادیر دبی خروجی از سرریز به ازای ارتفاع‌های مختلف تاج سرریز، برای دبی ورودی Q=93 lit/s و پهنای ثابت W=22 Cm.....	۵۷
جدول ۸-۴ مقایسه شاخص‌های آماری برای مقادیر دبی خروجی بدست آمده از شبیه‌سازی عددی و رابطه رانگ راجو و همکاران (۱۹۷۹).....	۶۰

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

اقلیم مدیترانه‌ای کشور ایران و تراکم بارش‌ها در اکثر حوزه‌های آبریز موجب بوقوع پیوستن سیلاب‌های عظیمی در این حوزه‌ها شده و از طرفی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به علت فقدان مدیریت صحیح منابع طبیعی، جاری شدن تندآب‌ها و سیل‌ها خسارات جانی و مالی فراوانی را ببار می‌آورد. مهار سیلاب و بهره‌گیری از سیلاب‌ها جهت تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، راهبردی برای تقویت و توسعه منابع آبی بوده و از مهمترین اقداماتی است که در نتیجه اجرای طرح پخش سیلاب در آبخوان‌ها، در مناطق خشک و نیمه‌خشک حاصل می‌گردد.

یکی از متداولترین روش‌های دریافت و توزیع جریان آب در سیستم‌های پخش سیلاب، استفاده از سرریزهای جانبی است. خصوصیات مربوط به سرریزهای جانبی ایجاب می‌نماید که از این سرریزها در امور مربوط به مهندسی آب در زمینه‌های مختلف، از جمله پروژه‌های کنترل و حفاظت سیلاب جهت خارج نمودن آب اضافی به درون کانال تخلیه، کنترل سطح آب در سیستم‌های آبیاری و زهکشی، بهداشت محیط و حفاظت محیط زیست، استفاده‌های متعددی به عمل آید. همچنین به عنوان سازه حفاظتی در بالادست سیفون‌های معکوس، زیرگذر جاده‌ها، محل‌های سیل‌خیز رودخانه‌ها، برداشت آب از رودخانه‌ها و مخازن سدها نیز از این سازه استفاده می‌شود.

تاکنون بررسی سرریزهای جانبی لبه‌تیز بیشتر مورد توجه مهندسين بوده است در حالیکه برای سیستم پخش سیلاب، سرریزهای جانبی لبه‌پهن کاربرد بیشتری دارند. دلیل این امر این است که در سرریزهای لبه‌پهن، جریان با عمق و سرعت کمتر و در نتیجه انرژی کمتری وارد سیستم پخش سیلاب شده و از فرسایش مناطق پایین‌دست جلوگیری می‌کند. لذا در طراحی پروژه‌هایی که در آنها از این سازه استفاده می‌شود، باید تخمین دقیقی از شدت جریان صورت گرفته و طراحی بر اساس مقادیر صحیح انجام پذیرد.

۲-۱ سرریزها

سرریزها سازه‌های هیدرولیکی هستند که برای عبور سیلاب‌ها و آب اضافی از مخازن سدها، اندازه‌گیری دبی جریان و همچنین کنترل سطح آب در سیستم‌های انتقال و توزیع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبق تعریف، هر مانعی که بر سر راه جریان در کانال قرار گیرد و باعث شود تا آب در