بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای مجتبی خسروی مشیزی پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان بررسی

آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل مستغرق در قوس ۹۰ درجه در تاریخ ۱۳۹۰/۱۰/۲۸ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی آب پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مسعود قدسیان	استاد	
استاد راهنمای دوم	دکتر محمد واقفی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر مهدی شفیعی فر	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سید محمدرضا مجدزاده طباطبایی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر مهدی شفیعی فر	دانشیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی مجتبی حضروی

امضاء

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته **مهندسی عمران- آب** است که در سال**۱۳۹۰**در دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی(اول) جناب آقای دکتر **مسعود قدسیان**، راهنمایی دوم جناب آقای دکتر **محمد واقفی** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **مجتبی خسروی مشیزی** دانشجوی رشته **مهندسی عمران – آب** مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: مجتبی خسروی

تاریخ و امضا:

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران–گرایش هیدرولیک

بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل مستغرق در قوس۹۰درجه

دانشجو:

مجتبی خسروی مشیزی

استاد راهنما(اول):

دکتر مسعود قدسیان

استاد راهنما(دوم):

دکتر محمد واقفی

دی ۱۳۹۰

تقدیم به

پدرم و مادر مهربان و فداکارم

آنان که سالهای بسیار با تحمل زحمت و رنج فراوان راه را جهت

تحصیل علم و کسب معرفت و سعادتمندی اینجانب هموار ساختند.

تشکر و قدردانی

اینک که این نوشتار آماده می گردد خداوند متعال را شکرگذارم که یاریم نمود تا مرحله دیگری از زندگی خود را در سایه الطاف بیکرانش طی نموده و به پایان برسانم.

از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر مسعود قدسیان و دکتر محمد واقفی که راهنمایی این پایان نامه را متقبل شدند و در طی دوران پایان نامه با راهنمایی و تشویق هایشان، موجبات کار را فراهم کردند سپاس گذاری می کنم و این دستاورد را مرهون همراهی، دلگرمی و نصایح دلسوزانه آنها می دانم.

از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر علی اکبر صالحی نیشابوری و دکتر فرزین نصیری صالح که در این مقطع تحصیلی از راهنمایی و تجارب و دلگرمی هایشان بهرمند بودم کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از خانواده عزیزم که همواره پشتیبان من بوده اند تشکر نموده و از خداوند متعال سلامت و طول عمر را برای آنها خواستارم.

از جناب آقای دکتر مجتبی مهرآیین که در تمام مراحل انجام آزمایشات و مراحل مختلف پایان نامه همواره مراهمراهی و راهنمایی نمودند تشکر و قدردانی نموده و برای ایشان آرزوی سعادتمندی و سلامت خواستارم.

از دوستان عزیزم مهندس یاسر شریعت زاده و حسین علیزاده که با توجه به مشترک بودن کانال و وسایل آزمایشگاهی در تمام مراحل انجام آزمایشات همکاری لازم را با من داشته اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مجتبی خسروی

زمستان ۱۳۹۰

چکیده:

در این تحقیق به بررسی پارامترهای مؤثر بر الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن T شکل مستغرق در قوس ۹۰ درجه و همچنین ارتباط بین الگوی جریان و آبشستگی پرداخته شده است. آزمایشات الگوی جریان شامل اندازه‌گیری سرعت‌های سه‌بعدی با سرعت‌سنج نقطه‌ای $Vectrino^{+}$ و در دو حالت بستر تخت و تعادل یافته و تغییر پارامترهای استغراق و شعاع انحناء می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل الگوی جریان در حالت بستر تخت نشان می‌دهد که در پایین دست آبشکن T شکل مستغرق یک جریان کاملاً پیچیده و سه‌بعدی با گردابه‌های قائم ، افقی ، طولی و جریان بازگشتی حاکم می‌باشد. تحلیل الگوی جریان در بالادست آبشکن T شکل مستغرق بیانگر کاهش ابعاد گردابه ، جریان بازگشتی، ابعاد ناحیه جدایی جریان و سرعت‌های عمقی با افزایش درصد استغراق و کاهش شعاع انحناء می‌باشد. با تحلیل الگوی جریان نزدیک بستر ، محاسبه‌ی ورتیسیتی، پارامترهای آشفتگی و ابعاد ناحیه جدایی جریان نحوه حمل رسوبات به سمت پایین دست کانال و ابعاد چاله آبشستگی و محل حداکثر آبشستگی به خوبی پیش‌بینی شده است. توزیع تنش برشی بستر محاسبه شده از طریق نوسانات سرعت‌های سه بعدی به روش‌های مختلف نشان می‌دهد که شروع و حداکثر عمق آبشستگی در محل حداکثر تنش برشی اتفاق نیفتاده است.

مکانیزم جریان در بالادست آبشکن وجود یک صفحه جدایی جریان را که در آن بخشی از جریان به صورت پایین‌رونده و بخش دیگر جریان به صورت بالارونده عمل می‌کند را نشان می‌دهد. جریان پایین‌رونده در لایه‌های نزدیک بستر و نزدیک لبه‌ی بال آبشکن به دلیل برخورد با مرز ناحیه جدایی جریان به صورت گردابه نعل اسبی درمی‌آید و این گردابه نعل اسبی عامل اصلی شروع آبشستگی شناخته شده است همچنین بخشی از این جریان پایین‌رونده در ناحیه نزدیک ساحل خارجی به صورت گردابه پادساعتگرد از نوع اجباری درمی‌آید که به عنوان عامل توسعه چاله آبشستگی شناخته شده است. نتایج الگوی آبشستگی با بستر متحرک بیانگر صحت پیش‌بینی‌های انجام شده با الگوی جریان تخت می‌باشد. مقایسه بین آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل مستغرق و غیرمستغرق بیانگر کاهش ابعاد چاله آبشستگی در حالت مستغرق می‌باشد. با افزایش درصد استغراق، کاهش U/U_c و شعاع انحنای قوس ابعاد چاله آبشستگی کاهش یافته است. همچنین افزایش قطر مصالح در U/U_c ثابت باعث افزایش آبشستگی شده است. در قوس تند آبشستگی در نیمه دوم قوس بیشتر از نیمه اول قوس می‌باشد. روابطی مناسب جهت تعیین حداکثر عمق و ابعاد چاله آبشستگی نیز ارائه گردید.

کلید واژه: آبشکنT شکل مستغرق، قوس ۹۰ درجه، بستر تخت، بستر تعادل یافته، توپوگرافی بستر

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ه
فهرست جدول‌ها ..... ز
فهرست شکل‌ها ..... ح

فصل ۱- مقدمه و کلیات ۱
۱-۱- مقدمـــه ۱
۱-۲- تعریف آبشکن رودخانه‌ای ۲
۱-۳- تقسیم بندی انواع آبشکن ۴
۱-۳-۱- تقسیم بندی بر اساس شکل ۴
۱-۳-۱-۱- آبشکن ها در سطح افق ۴
۱-۳-۱-۲- آبشکن‌ها در مقطع طولی ۵
۱-۳-۱-۳- آبشکن‌ها در مقطع عرضی ۵
۱-۳-۲- مصالح و روش ساخت آبشکن ۶
۱-۳-۲-۱- نفوذپذیری آبشـــکن ۶
۱-۳-۳- انعطاف پذیری آبشکن ۷
۱-۳-۴- استغراق آبشکن ۸
۱-۳-۵- تأثیر آبشکن بر جریان رودخانه ۹
۱-۳-۵-۱- آبشکن های جاذب ۹
۱-۳-۵-۲- آبشکن‌های عمـودی ۹
۱-۳-۵-۳- آبشکن‌های دافـــع ۹
۱-۴- اهداف ایجاد آبشکن ۱۰
۱-۵- ضوابط طراحی آبشکن‌ها ۱۱
۱-۵-۱- طول آبشکن‌ها ۱۲
۱-۵-۲- فاصله بین آبشکن ها ۱۲
۱-۵-۳- شیب طولی و ارتفاع آبشکن ۱۲
۱-۵-۴- عرض آبشکن و شیب کناره‌ها ۱۲
۱-۶- ضرورت انجام تحقیق ۱۳
۱-۷- علت انتخاب آبشکن T شکل و نوآوری تحقیق ۱۴
۱-۸- محدودیت‌های موجود بر تحقیق انجام شده ۱۵
۱-۹- اهداف تحقیق ۱۵
۱-۱۰- ساختار پایان نامه ۱۶

فصل ۲- مروری بر تحقیقات گذشته ۱۸

۲-۱- مقدمـــه ۱۸
۲-۲- رفتار جریان در قوس‌ها ۱۸
۲-۲-۱- جریان ثانویه و خیزاب ۱۸
۲-۲-۲- توزیع تنش برشی ۲۰
۲-۳- آبشستگی ۲۰
۲-۳-۱- مراحل مختلف فرسایش ۲۱
۲-۳-۲- انواع آبشستگی ۲۱
۲-۴- مروری بر تحقیقات گذشته ۲۴
۲-۴-۱- آبشکن مستغرق ۲۴
۲-۴-۲- آبشکن غیرمستغرق ۲۸
۲-۴-۲-۱- تأثیر عدد فرود بر آبشستگی ۲۸
۲-۴-۲-۲- تأثیر قطر مصالح بر آبشستگی ۲۸
۲-۴-۲-۳- تأثیر موقعیت استقرار آبشکن برآبشستگی ۲۹
۲-۴-۲-۴- تأثیر شعاع انحناء بر آبشستگی ۳۰
۲-۴-۲-۵- بررسی الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن T شکل ۳۰
فصل ۳- تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایشات ۳۲
۳-۱- مقدمـــه ۳۲
۳-۲- تجهیزات مورد استفاده در آزمایشگاه ۳۲
۳-۲-۱- کانال آزمایشگاهی مورد استفاده ۳۲
۳-۲-۱-۱- تبدیـــــل ورودی ۳۲
۳-۲-۱-۲- کانال مستقیم ورودی ۳۳
۳-۲-۱-۳- کانال خـــــم دار ۳۳
۳-۲-۱-۴- کانال مستقیم خروجی ۳۳
۳-۲-۱-۵- دریچه کشـــــویی ۳۳
۳-۲-۱-۶- دریچه پروانـــــه‌ای ۳۳
۳-۲-۲- روش اندازه گیری دبی ۳۵
۳-۲-۳- مصالح بستر ۳۵
۳-۲-۴- صاف کننده سطح بستر ۳۵
۳-۲-۵- آبشکن های مورد استفاده ۳۵
۳-۲-۶- کمپرسور هوا ۳۵
۳-۲-۷- عمق سنج نقطه‌ای و دستگاه اندازه گیری پروفیل بستر ۳۶
۳-۲-۸- دستگاه سرعت سنج سه بعدی ۳۸
۳-۲-۸-۱- اصول ردیابی سرعت سنج سه بعدی ۳۸
۳-۲-۸-۲- جهات محورهای مختصات دستگاه سرعت سنج ۴۱
۳-۳- نحوه به دست آوردن روابط حاکم بر آبشستگی ۴۱
۳-۳-۱- معرفی پارامترهای مؤثر بر آبشستگی ۴۲
۳-۳-۱-۱- پارامترهای بیان کننده وضعیت هندسی رودخانه ۴۲

۳-۳-۱-۲- پارامترهای مشخصه جریان ۴۲
۳-۳-۱-۳- پارامترهای مشخصه ذرات بستر و شرایط سیال ۴۲
۳-۳-۱-۴- پارامترهای مربوط به آبشکن T شکل ۴۲
۳-۳-۲- انجام آنالیز ابعادی ۴۲
۳-۴- تقسیم‌بندی آزمایشها ۴۳
۳-۴-۱- نحوه تعیین ارتفاع جریان در آزمایشات ۴۴
۳-۴-۲- شرح آزمایشات آبشستگی ۴۴
۳-۴-۲-۱- تعداد و پارامترهای آزمایشات آلگوی آبشستگی ۴۵
۳-۴-۳- شرح آزمایشات الگوی جریان ۴۷
۳-۴-۳-۱- تعریف لایه مرزی آشفته ۴۷
۳-۴-۳-۲- شبکه‌بـــــــــندی ۴۸
۳-۴-۳-۳- پارامترهای مؤثر جهت اندازه گیری داده‌ها با دستگاه سرعت سنج ۵۰
۳-۴-۳-۴- نحوه انجام آزمایشات الگوی جریان ۵۱
۳-۴-۳-۵- آماده سازی داده ها برای ترسیم ۵۲
۳-۵- معرفی پارامترهای ناحیه جدایی جریان و ابعاد گردابه پایین دست ۵۴
۳-۶- خطاهای آزمایشگاهی ۵۵
۳-۶-۱- خطاهای مشاهداتی ۵۵
۳-۶-۲- خطاهای ذاتی ۵۶
۳-۶-۳- خطاهای آماری ۵۷

فصل ۴- بررسی الگوی جریان در حالت بستر تخت ۵۹

۴-۱- مقدمـــــه ۵۹
۴-۲- محاسبه قدرت جریان ثانویه ۵۹
۴-۳- محاسبه تنش برشی بستر ۶۰
۴-۴- مکانیزم جریان در شروع آزمایشات ۶۱
۴-۵- بررسی اثر استغراق آبشکن بر الگوی جریان در حالت بستر تخت ۶۳
۴-۶- بررسی الگوی جریان در حالت استغراق زیاد با بستر تخت ۶۳
۴-۷- بررسی اثر استغراق بر الگوی جریان اطراف آبشکن مستقر در قوس ۷۰
۴-۸- بررسی اثر شعاع انحناء قوس با بستر تخت بر الگوی جریان اطراف آبشکن ۷۵
۴-۹- بررسی ابعاد ناحیه جدایی جریان ۷۹
۴-۱۰- پیش بینی الگوی آبشستگی بر اساس الگوی جریان ۸۰
۴-۱۱- بررسی پارامترهای آشفتگی در نزدیکی بستر ۸۱

فصل ۵- بررسی آبشستگی و الگوی جریان در قوس در حالت بستر تعادل یافته ۹۰

۵-۱- مقدمـــــه ۹۰
۵-۲- مکانیزم جریان اطراف آبشکنT شکل با استغراق زیاد ۹۰
۵-۳- بررسی اثر استغراق بر الگوی آبشستگی ۹۶

۵-۴- بررسی اثر U/Uc و استغراق بر الگوی آبشستگی..... ۹۹
۵-۵- بررسی اثر قطررسوبات و درصد استغراق بر الگوی آبشستگی..... ۱۰۱
۵-۶- بررسی اثر موقعیت استقرار آبشکن و درصد استغراق بر الگوی آبشستگی..... ۱۰۳
۵-۷- بررسی اثر شعاع انحنای قوس و درصد استغراق بر الگوی آبشستگی پیرامون آبشکن..... ۱۰۶
۵-۸- روابط ابعاد چاله آبشستگی..... ۱۰۷

فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۱۰

۶-۱- مقدمـــــه..... ۱۱۰
۶-۲- نتایج مربوط به الگوی جریان پیرامون آبشکن‌های T شکل مستغرق در قوس ۹۰ درجه در حالت بستر تخت..... ۱۱۰
۶-۳- پیشنهادات جهت ادامه تحقیق..... ۱۱۳

فهرست مراجع..... ۱۱۴

واژه نامه فارسی به انگلیسی..... ۱۱۷

واژه نامه انگلیسی به فارسی..... ۱۱۹

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
قطر رسوباتی که ۸۴ درصد رسوبات از آن ریزترند	d_{84}
قطر رسوباتی که ۱۶ درصد رسوبات از آن ریزترند	d_{16}
انحراف معیار مصالح بستر	σ_g
عرض کانال	B
شیب طولی کانال	S_0
شعاع مرکزی قوس	R_c
زاویه مرکزی قوس	β
سرعت متوسط جریان	U
زمان از شروع آزمایش	t
زمان تعادل آزمایش	t_e
قطر متوسط رسوبات	d_{50}
چگالی مصالح بستر	ρ_s
زاویه اصطکاک داخلی مصالح بستر	ϕ
چسبندگی ذرات رسوبی	C
چگالی سیال	ρ
لزجت سینماتیک	ν
شتاب ثقل	g
تخلخل مصالح بستر	P
شکل دانه	SF_d
درصد استغراق	S
طول جان آبشکن	L
طول بال آبشکن	l
زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به ساحل	α
زاویه موقعیت قرارگیری آبشکن در قوس	θ
ضخامت آبشکن	T
درصد بازشدگی	O
طول ناحیه جدایی جریان	ls
طول ناحیه اتصال مجدد جریان	lj
بزرگترین عرض ناحیه جدایی جریان	bs
طول گردابه پایین دست	lv

قدرت جریان ثانویه	S_{xy}
انرژی جنبشی جریان جانبی	$K_{lateral}$
انرژی جنبشی جریان اصلی	K_{main}
سرعت متوسط طولی در سیستم کارتزین	U
سرعت متوسط عرضی در سیستم کارتزین	V
سرعت متوسط عمقی در سیستم کارتزین	W
سرعت بحرانی جریان در مسیر مستقیم بالادست	u_C
سرعت برشی جریان در مسیر مستقیم بالادست	u_*
مؤلفه طولی سرعت در مختصات قطبی	u_θ
مؤلفه شعاعی سرعت در مختصات قطبی	u_r
مؤلفه عمقی سرعت در مختصات قطبی	u_z
طول نقاط برداشت در مختصات کارتزین	X
عرض نقاط برداشت در مختصات کارتزین	Y
ارتفاع نقاط برداشت در مختصات قطبی و کارتزین	Z
شعاع نقاط در مختصات قطبی	R
مؤلفه سرعت شعاعی در گره(i,j)	u_{ri}^{j}
مؤلفه سرعت عمقی در گره(i,j)	u_{zi}^{j}
تنش برشی بستر نزدیک بستر	τ
مؤلفه شعاعی تنش برشی نزدیک بستر	τ_b^r
مؤلفه مماسی تنش برشی نزدیک بستر	τ_b^θ
مؤلفه طولی نوسانی سرعت	u'
مؤلفه عرضی نوسانی سرعت	v'
مؤلفه عمقی نوسانی سرعت	w'
عدد فرود	Fr
عدد رینولدز	Re
بیشترین میزان عرض چاله آبشستگی	a
طول چاله آبشستگی به سمت بالادست	c
مجموع مربعات خطای انحراف	SSE
مجذور میانگین خطای انحراف	MSE
ضریب همبستگی	R^2

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- محققان بررسی کننده اثر موقعیت استقرار آبشکن بر میزان آبشستگی حول آبشکن..... ۳۰
جدول ۳-۱- مشخصات جریان ورودی به قوس در مسیر مستقیم بالادست ۴۷
جدول ۵-۱- پارامترهای محاسبه خطا روابط ابعاد چاله آبشستگی ۱۰۸
جدول ۵-۲- دامنه تغییرات بدون بعد شده ابعاد چاله آبشستگی.....۱۰۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- نمایش کاربرد آبشکن ها درساماندهی رودخانه[۱] ۳
شکل ۱-۲-نمایش اجزای مختلف آبشکن[۱] ۳
شکل ۱-۳- انواع شکل ظاهری آبشکن ها در پلان[۱] ۴
شکل ۱-۴- آبشکن های مستقیم با دماغه فارسی بر[۱] ۵
شکل ۱-۵- شکل پلکانی مقطع طولی آبشکن - نوع توریسنگی[۱] ۵
شکل ۱-۶- برخی از انواع شکل آبشکن ها در مقطع عرضی[۱] ۶
شکل ۱-۷- نمونه ای از آبشکن های نفوذ ناپذیر استفاده شده در ایران[۴] ۸
شکل ۱-۸- انواع آرایش آبشکن‌های عمودی، جاذب، دافع[۱] ۱۰
شکل ۱-۹- فرسایش جداره و بستر رودخانه در محل یک قوس ۱۱
شکل ۱-۱۰- پارامترهای مؤثر در طراحی آبشکن[۳] ۱۱
شکل ۱-۱۱- نمایی از آبشکن های T شکل تورسنگی استفاده شده در دیواره خارجی قوس[۴] ۱۴
شکل ۲-۱- (الف) قوس رودخانه و (ب) الگوی جریان ثانویه در رأس قوس[۶] ۱۹
شکل ۲-۲- نحوه تغییرات عمق آبشستگی در دو حالت آب زلال و آب حاوی رسوب در برابر زمان ۲۳
شکل ۲-۳- نحوه تغییرات الگوی جریان در دوحالت استغراق کم و زیاد ۲۵
شکل ۲-۴- ابعاد و مقاطع مختلف کانال و آبشکن مورد استفاده و نقاط اندازه گیری شده در پلان ۲۶
شکل ۲-۵- مقایسه داده های آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی در در حالت بستر تخت و تعادل یافته ۲۷
شکل ۲-۶- توپوگرافی بستر ۵۳ دقیقه پس از شروع آزمایش ۲۷
شکل ۲-۷- اثر نسبت b/d50 به ds/b برای عدد فرودهای کوچکتر از ۰/۴ (الف) Melville (ب) Lee.. ۲۹
شکل ۳-۱- نمایی از تبدیل ورودی ۳۳
شکل ۳-۲- دریچه کشویی و پروانه ای در انتهای کانال خروجی ۳۴
شکل ۳-۳- نمایش شماتیک کانال مورد استفاده و ابعاد کانال[۴] ۳۴
شکل ۳-۴- (الف) کمپرسور هوا و نمونه‌ای از بستر فریز شده با دوغاب سیمان در حالت (ب) بستر تخت (ج) بسترتعادل یافته ۳۶
شکل ۳-۵- (الف) دستگاه LBPدستگاه (ب) عمق سنج نقطه ای، نمونه‌ای از شبکه بندی نقاط برداشت پروفیل با (ج) LBP (د)Point Gage ۳۷
شکل ۳-۶- دستگاه سرعت سنج با حسگر (الف) جانب نگر و (ب)پایین نگر ۳۹
شکل ۳-۷- نحوه ارسال شماتیک موج از حسگر و دریافت آن توسط شاخک های (الف) دستگاه سرعت سنج و (ب) مشخصات حجم تشکیل شده ۴۰
شکل ۳-۸- ارابه متحرک جهت برداشت سرعت های سه بعدی ۴۰

شکل ۳-۹- جهت محورهای مختصات برای دستگاه سرعت‌سنج(الف) Downlooking (ب) Sidelooking ۴۱
شکل ۳-۱۰- شکل شماتیک مقطع عرضی آبشکن ۴۳
شکل ۳-۱۱- اشباع بستر مسطح از پایین دست ۴۵
شکل ۳-۱۲- نمودار زمان تعادل مربوط به سری اول(الف)، سری دوم(ب)، سری سوم(ج)، سری چهارم(د)آزمایشات الگوی آبشستگی ۴۶
شکل ۳-۱۳- توزیع سرعت در جریان آشفته در ناحیه قانون جداره(واقفی [۴]) ۴۸
شکل ۳-۱۴- نمونه ای از شبکه بندی پلان نقاط برداشت سرعت در مقاطع طولی ۴۹
شکل ۳-۱۵- نمونه ای از پروفیل عرضی نقاط برداشت شده در قوس در حالت بستر تخت و در مقاطع نزدیک آبشکن ۴۹
شکل ۳-۱۶- نمونه‌ای از پروفیل عرضی نقاط برداشت شده در قوس در حالت بستر تعادل یافته در مقاطع نزدیک بال بالادست آبشکن ۵۰
شکل ۳-۱۷- نمونه ای از شبکه بندی سه بعدی برای (الف) بستر تخت (ب) بستر تعادل یافته ۵۰
شکل ۳-۱۸- نمونه ای از سری زمانی سرعت (الف) قبل و (ب) بعد از فیلتراسیون ۵۱
شکل ۳-۱۹ - نحوه تبدیل مولفه های سرعت ۵۳
شکل ۳-۲۰- نحوه تبدیل مولفه های مختصات ۵۳
شکل ۳-۲۱- فلوچارت مراحل مختلف آزمایشات الگوی جریان ۵۳
شکل ۳-۲۲- معرفی پارامترهای مربوط به ناحیه ی جدایی جریان و گردابه پایین دست آبشکن ۵۴
شکل ۳-۲۳- نمونه ای از خطا در: (الف) انحراف آبشکن، (ب) تغییر دبی و (ج)آزمایش درست ۵۶
شکل ۴-۱- شکل شماتیک یک سلول از شبکه برداشت سرعت ۶۰
شکل ۴-۲- نمونه‌ای از الگوی کیفی جدایی جریان در بالادست آبشکن: (الف) نوارهای رنگی و (ب) تزریق رنگ ۶۲
شکل ۴-۳- نمونه ای از الگوی کیفی جریان: (الف) Up Flow در بالادست آبشکن و (ب) جریان بازگشتی پایین دست آبشکن ۶۲
شکل ۴-۴- نمونه‌ای از الگوی جریان در مقاطع عرضی مختلف در بالادست آبشکن مستغرق و مستقر در زاویه ۴۵ درجه با درصد استغراق ۵۰ درصد و بستر تخت: (الف)۰، (ب) ۲۰، (ج) ۲۵ ،(د) ۴۲/۵ ، (و) ۴۳/۷۵ و (ه)۴۵درجه ۶۴
شکل ۴-۵- نمونه‌ای از الگوی جریان در مقاطع عرضی مختلف در پایین دست آبشکن با استغراق زیاد(۵۰ درصد) و مستقر در زاویه ۴۵ درجه با درصد استغراق ۵۰ درصد و بستر تخت: (الف) ۴۶/۲۵،(ب) ۴۷/۵، (ج) ۵۰ ، (د) ۵۵ ، (ه) ۶۵ و (و)۹۰درجه ۶۶
شکل ۴-۶- نمونه‌ای از الگوی جریان در مقاطع طولی مختلف برای آبشکن با درصد استغراق زیاد و مستقر در زاویه ۴۵ درجه با فاصله از دیوار خارجی: (الف) ۷٪، (ب)۱۰٪، (ج)۱۳٪، (د)۱۵٪ ، (ه)۳۳٪ و (و)۵۰٪ عرض کانال ۶۷

شکل ۴-۷- نمایش الگوی جریان پیرامون آبشکن در قوس توسعه یافته برای آبشکن با درصد استغراق زیاد(۵۰درصد) و مستقر در زاویه ۴۵ درجه و در در ترازهای مختلف: (الف) ۵ درصد ،(ب) ۲۵ درصد ، (ج)۶۰ درصد و (د) ۹۵درصد عمق جریان از بستر.....۶۸
شکل ۴-۸- نمایش الگوی جریان در ترازهای مختلف از قوس توسعه‌یافته برای آبشکن با درصد استغراق زیاد و مستقر در زاویه ۴۵ درجه و در ترازهای: (الف) ۵ درصد ،(ب) ۲۵ درصد ، (ج)۶۰ درصد و (د) ۹۵ درصد عمق جریان از کف.....۶۹
شکل ۴-۹- نمونه‌ای از مؤلفه‌های سه بعدی سرعت برای آبشکن با استغراق زیاد و به فاصله۱۰ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی: (الف)مؤلفه طولی۴۰cm/s(ب)مؤلفه عرضی ۱۰ cm/s(ج) مؤلفه عمقی ۵cm/s ۷۱
شکل ۴-۱۰- نمونه‌ای از الگوی جریان عرضی برای آبشکن مستغرق با درصد استغراق: (الف)کم و (ب) زیاد در لبه‌ی بال بالادست آبشکن(مقطع ۴۳/۷۵ درجه) و قوس توسعه یافته(R=4B)..... ۷۲
شکل ۴-۱۱- نمایش الگوی جریان اطراف آبشکن مستقر در موقعیت ۴۵ درجه از قوس ملایم(R=4B) در تراز ۵ درصد عمق جریان از کف: (الف) غیرمستغرق، (ج)درصد استغراق کم (۵ درصد)، (ه) درصد استغراق زیاد(۵۰ درصد) و تراز ۹۵ درصد عمق جریان از کف: (ب) غیرمستغرق، (د) درصد استغراق کم و (و) درصد استغراق زیاد..... ۷۳
شکل ۴-۱۲- پروفیل‌های مؤلفه عمقی سرعت جریان(۱۰cm/s) برای مقاطع اطراف آبشکن (الف) غیرمستغرق، (ب) مستغرق با استغراق کم (ج) مستغرق با استغراق زیاد ، به فاصله ۷ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی در پیرامون آبشکن ۷۴
شکل ۴-۱۳- مقادیر متوسط قدرت ورتیسیتی در مقاطع مختلف در طول قوس برای درصد استغراق کم و زیاد و با آبشکن در قوس توسعه یافته(R=4B) ۷۵
شکل ۴-۱۴- کانتورهای سرعت مطلق ماکزیمم برای مقاطع ابتدا(۳۰ درجه) و انتهای قوس(۷۰ درجه) برای دو نسبت شعاع انحناء به عرض: (الف، ب) ۲، (ج،د)۴ و مربوط به آبشکن با درصد استغراق ۵۰ درصد ۷۶
شکل ۴-۱۵- نمونه‌ای از الگوی جریان در مقاطع عرضی ۲۵ درجه و لبه بال بالادست آبشکن برای دوقوس (الف) توسعه یافته (ب) تند برای آبشکنT شکل با درصد استغراق زیاد..... ۷۷
شکل ۴-۱۶- نمونه‌ای از خطوط جریان نزدیک بستر برای آبشکن با استغراق زیاد: (الف)قوس تند(R=2B) و (ب) قوس توسعه یافته(R=4B)..... ۷۸
شکل ۴-۱۷- مقادیر متوسط قدرت ورتیسیتی در مقاطع مختلف در طول قوس برای قوس تند و توسعه یافته در درصد استغراق ۵۰ درصد..... ۷۹
شکل ۴-۱۸- تغییرات اثر استغراق و شعاع انحناء نسبی بر: (الف) طول (ب) بزرگترین عرض (ج) طول اتصال مجدد ناحیه جدایی جریان بی بعد شده با طول آبشکن..... ۸۰
شکل ۴-۱۹- (الف) توپوگرافی بستر و (ب) مقاطع طولی اطراف آبشکن بدون بعد شده با عمق جریان در پایان زمان تعادل نسبی(۲۴ ساعته)..... ۸۱

شکل ۴-۲۰- نمونه‌ای از کانتورهای سرعت بدون بعد شده با سرعت متوسط بالادست: (الف)، (ج) سرعت های طولی به ترتیب برای آبشکن با درصد استغراق کم و زیاد، (ب)، (د) سرعت های عمقی به ترتیب برای درصد استغراق کم وزیاد ۸۲
شکل ۴-۲۱- نمونه‌ای از کانتورهای شدت نسبی آشفتگی در جهت عمقی نزدیک بستر بدون بعد شده با سرعت برشی: (الف) درصد استغراق کم و (ب) درصد استغراق زیاد ۸۳
شکل ۴-۲۲- کانتورهای بدون بعد شده‌ی تنش‌های رینولدز برای آبشکن T شکل مستغرق با درصد استغراق (الف)، (ب)، (ج) کم و (د) زیاد ۸۴
شکل ۴-۲۳- کانتورهای تنش بدون بعد شده برای آبشکن مستغرق با درصد استغراق: (الف) زیاد و (ب) کم ۸۶
شکل ۴-۲۴- نمودار بی‌بعد شده تغییرات تنش برشی در طول قوس در فواصل مختلف از ساحل خارجی ۸۶
شکل ۴-۲۵- نمونه‌ای از سری‌های زمانی : (الف)سرعت متوسط و (ب) واریانس سرعت‌ها، در ناحیه اتصال مجدد جریان در پایین دست آبشکن ۸۸
شکل ۵-۱- نمونه‌ای از نمایش کیفی: (الف) گردابه نعل اسبی در شروع آزمایش و (ب) چاله آبشستگی در انتهای آزمایش آبشستگی ۹۱
شکل ۵-۲- نمونه‌ای از الگوی جریان در مقاطع عرضی مختلف در بالادست آبشکن با درصد استغراق زیاد و با بستر تعادل یافته: (الف) ۲۰، (ب) ۳۵، (ج) ۴۰، (د) ۴۲/۵، (ه) ۴۳/۷۵ و (و) ۴۵ درجه ۹۳
شکل ۵-۳- تغییرات توپوگرافی بستر پس از زمان تعادل نسبی برای نسبت شعاع انحنا به عرض ۴ و درصد استغراق ۵۰ درصد آبشکن ۹۴
شکل ۵-۴- نمونه‌ای از الگوی جریان در مقاطع عرضی مختلف در پایین دست آبشکن با درصد استغراق زیاد و با بستر تعادل یافته: (الف) ۴۶/۲۵، (ب) ۴۷/۵، (ج) ۵۰، (د) ۵۵، (ه) ۶۵ و (و) ۹۰ درجه ۹۴
شکل ۵-۵- نمونه ای از الگوی جریان در مقاطع طولی مختلف برای آبشکن مستقر در زاویه ۴۵درجه با درصد استغراق ۵۰ درصد و بستر تعادل یافته با فاصله از دیوار خارجی: (الف) ۷، (ب) ۱۰، (ج) ۱۳، (د) ۱۵، (ه) ۳۳ و (و) ۵۰ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی ۹۵
شکل ۵-۶- نمونه‌ای از پروفیل عرضی بدون بعد شده آبشستگی در درصد استغراق‌های مختلف و در لبه‌ی بال (الف) بالادست و (ب) پایین دست آبشکن ۹۶
شکل ۵-۷- نمونه‌ای از پروفیل طولی بدون بعد شده در درصد استغراق‌های مختلف و به فاصله ۵ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی ۹۷
شکل ۵-۸- مقادیر بدون بعد شده: (الف) حداکثر عمق آبشستگی و (ب) حجم چاله آبشستگی اول، برای درصد استغراق های مختلف آبشکن ۹۷
شکل ۵-۹- توپوگرافی بدون بعد شده بستر برای آبشکن مستقر در زاویه ۴۵ درجه از قوس توسعه یافته برای آبشکن با درصد استغراق‌های مختلف: (الف) غیرمستغرق، (ب) ۵، (ج)۱۵ ، (د) ۲۵ و (و)۵۰ درصد ۹۸

شکل ۵-۱۰- نمونه‌ای از بردارهای سرعت و خطوط جریان در مقطع عرضی لبه‌ی بال بالادست آبشکن مستغرق و مستقر در زاویه ۴۵ درجه از قوس توسعه یافته : (الف)، (ب) با استغراق کم و (ج)، (د) با استغراق زیاد..... ۹۹
شکل ۵-۱۱- (الف) نمونه‌ای از پروفیل‌های عرضی بدون بعد شده آبشستگی در لبه‌ی بال بالادست آبشکن با درصد استغراق ۵ درصد و (ب) تغییرات حجم بدون بعد شده چاله آبشستگی برحسب عدد فرود در درصد استغراق‌های مختلف..... ۱۰۰
شکل ۵-۱۲- توپوگرافی بدون بعد شده بستر برای آبشکن مستقر در زاویه ۴۵ درجه از قوس توسعه یافته برای آبشکن با درصد استغراق ۵ درصد و عدد فرودهای مختلف: (الف) ۰/۲۳ (ب) ۰/۳ و (ج)۰/۳۴...۱۰۱
شکل ۵-۱۳- نمونه‌ای از تغییرات بدون بعد شده پروفیل‌های عرضی آبشستگی در لبه‌ی: (الف) بال بالادست و (ب) بال پایین دست آبشکن، برای قطر رسوبات مختلف و برای آبشکن با درصد استغراق ۵ درصد، مستقر در زاویه ۴۵ درجه از قوس توسعه یافته..... ۱۰۲
شکل ۵-۱۴- تغییرات بدون بعد شده حداکثر عمق آبشستگی در برابر پارامتر بدون L/d_{50} برای درصد استغراق‌های مختلف آبشکن..... ۱۰۳
شکل ۵-۱۵- تغییرات بدون بعد شده توپوگرافی بستر برای اندازه مصالح مختلف بستر: (الف) ۰/۶۵ میلیمتر، (ب) ۱ میلیمتر و (ج) ۱/۲۸ میلیمتر..... ۱۰۴
شکل ۵-۱۶- نمونه‌ای از تغییرات بدون بعد شده پروفیل عرضی آبشستگی در لبه‌ی بال بالادست آبشکن: (الف) آبشکن با استغراق ۵ درصد در موقعیت‌های مختلف، (ب) آبشکن مستقر در زاویه ۴۵ درجه در در درصد استغراق‌های مختلف و (ج) حداکثر مقدار بدون بعد شده آبشستگی در برابرموقعیت استقرار در درصد استغراق‌های مختلف..... ۱۰۵
شکل ۵-۱۷- تغییرات بدون بعد شده توپوگرافی بستر برای آبشکن با درصد استغراق ۲۵ درصد و مستقر در قوس تند در موقعیت‌های: (الف)۳۰، (ب) ۴۵، (ج) ۶۰ و (د) ۷۵ درجه..... ۱۰۶
شکل ۵-۱۸- نمونه‌ای از تغییرات بدون بعد شده پروفیل عرضی آبشستگی در لبه‌ی بال بالادست آبشکن برای درصد استغراق‌های مختلف و قوس: (الف) تند و (ب) توسعه یافته..... ۱۰۷
شکل ۵-۱۹- نمونه‌ای از همبستگی رابطه عمق حداکثر آبشستگی..... ۱۰۸
شکل ۵-۲۰- ابعاد شماتیک چاله آبشستگی..... ۱۰۸