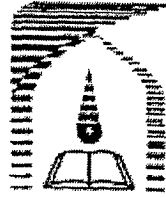




۹۹.۲۹



دانشگاه شیراز
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب

بررسی تاثیر کج شدگی پایه پل دایره ای بر عمق آبشستگی

سعید سلیمی

استاد راهنما:

دکتر مسعود قدسیان

کتابخانه مهندسی
دانشگاه شیراز

۱۷ / ۷ / ۱۳۸۷

زمستان ۱۳۸۶

۹۹.۲۹



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای سعید سلیمی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بررسی تاثیر کج شدگی پایه پل دایره ای شکل بر عمق آبستگي در تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۲۶ 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	امضاء
استاد راهنما	دکتر مسعود قدسیان	استاد	
استاد ناظر	دکتر فرزین نصیری صالح	استادیار	
استاد ناظر	دکتر علی اکبر صالحی نیشابوری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر بهزاد عطایی آشتیانی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر فرزین نصیری صالح	استادیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

۹۹۰۳۹

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، دانش‌آموختگان 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 پایان‌نامه‌ها / 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.

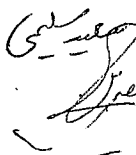

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی 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 پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های 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 پایان‌نامه / 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 لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی 
امضاء 

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

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (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 می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی 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/ رساله دکتری نگارنده در رشته _____ است
که در سال _____ در دانشکده _____ دانشگاه تربیت مدرس به
راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر _____ مشاور سرکار خانم / جناب آقای دکتر _____
و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر _____ از آن دفاع
شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

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

ماده ۶: اینجانب _____ کارشناس ارشد
دانشجوی رشته _____ - مهندسی آب
تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.
مقطع _____

نام و نام خانوادگی _____
تاریخ و امضاء: _____
۸۷، ۳، ۵

تقدیم به:

دنیای پرتلاش پدرم

دل آسمانی مادرم

و

خواهر مهربان و برادرخویم

تشکر و قدر دانی:

حمد و ستایش از آن خداوندی است که الطاف بی کرانش چراغ راه و روشنایی بخش ذهنم بود. نگارش پایان نامه حاضر ممکن نبود مگر به لطف پروردگار و یاری استاد گرامی و خانواده عزیزم. نخست لازم می دانم از زحمات بی دریغ استاد ارجمند، دکتر مسعود قدسیان، که در تمامی مراحل، پیوسته پشتیبان و راه گشای مسائل و مشکلات علمی و عملی این تحقیق بودند سپاسگذاری نمایم. همچنین از دکتر سیدعلی اکبر صالحی نیشابوری نیز که در طول دوران تحصیل راهنما و مشوقم بودند تشکر می نمایم. از دوست گرامیم مهندس یاسر امامی تشکر ویژه دارم که در طول انجام تحقیق با راهنمایی های بی دریغ خویش یاریم نمودند. دوستان گرامی دیگری همچون مهندس مجید فضلی، مهندس حسین منتصری، مهندس محسن مهدیلو و مهندس علی واقفی نیز در طول انجام تحقیق پشتیبان من بودند. از درگاه خداوند برای تمامی این عزیزان موفقیت و بهروزی مسالوات دارم. در پایان از خانواده ارجمندم که بدون همراهی و تشویق ایشان این تحقیق به سرانجام نمی رسید تشکر و قدردانی می نمایم.

سعید سلیمی

بهار ۸۷

چکیده

بحث قرارگیری پایه پل بصورت کج در برابر جریان آب کمتر مورد توجه محققین قرار داشته است. پیشرفت فناوری طراحی و ساخت سازه های غیر معمول در مهندسی عمران و همچنین مجهول بودن اثرات آن بعنوان یک پدیده بر جریان سه بعدی حول پایه، سبب جلب توجه محققین برای بررسی آن گردیده است. در این تحقیق آزمایشگاهی، به مقایسه الگوی جریان و نیز آبشستگی موضعی در اطراف پایه کج استوانه‌ای پل با پایه قائم پرداخته شده است.

در زمینه الگوی جریان، پایه پل به قطر ۴ سانتیمتر در حالت قائم و نیز در دو حالت کج شدگی (کج در صفحه عمود بر جریان و کج در صفحه موازی جریان به سمت پایین دست) تحت شرایط آستانه حرکت مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی الگوی جریان اطراف پایه، بوسیله دستگاه سرعت سنج سه بعدی ADV مقادیر سرعت در ترازها و مقاطع مختلف برداشت گردید. در آزمایشات آبشستگی موضعی، به بررسی اثر کج شدگی پایه استوانه‌ای شکل در سه راستا (کج در صفحه عمود بر جریان، کج به سمت بالادست و کج به سمت پایین دست در صفحه به موازات جریان) بر عمق و سایر پارامترهای حفره آبشستگی و مقایسه نتایج آنها با نتایج پایه قائم پرداخته شد (حداکثر مقدار کج شدگی ۲۱ درجه). از پایه هایی با قطر ۴ و ۵ سانتی متر به منظور بررسی اثر قطر پایه بر آبشستگی استفاده گردید. آزمایشات در شرایط آب زلال و برای چهار نسبت V/V_c (۰/۹۸، ۰/۹۲، ۰/۸۶، ۰/۸) صورت پذیرفت تا اثر شدت جریان در آزمایشات در نظر گرفته شود. آزمایشات برای زمان تعادل نسبی ۱۸ ساعت در مجاورت رسوبات یکنواخت از جنس سیلیس با قطر میانگین ۰/۶ میلیمتر صورت پذیرفت. بررسی نتایج نشان می دهد با کج شدن پایه به سمت پایین دست کاهش عمق آبشستگی به وقوع می پیوندد بگونه ای که در برابر هر یک درجه افزایش کج شدگی پایه حدود یک درصد کاهش عمق آبشستگی به وقوع می پیوندد بگونه ای که در برابر هر رود (صحت این تقریب محدود به زاویه کج شدگی تا ۲۱ درجه می باشد). همچنین با مقایسه داده های بدست آمده از پایه پل قائم با تعدادی از روابط معروف، رابطه ای که از بیشترین تطابق نسبت به سایر روابط برخوردار می باشد انتخاب گردید و با ارائه ضریبی اصلاحی برای آن، رابطه ای اصلاح شده برای تخمین مقادیر عمق تعادل آبشستگی در پایه های کج شده در این راستا ارائه شد. در پایه های کج شده به سمت بالادست در مقایسه با پایه قائم به غیر از افزایش کم عمق آبشستگی (مقدار تقریبی نزدیک به ۵٪) در اثر ۲۱ درجه کج شدن پایه، پروفیل های طولی و عرضی تقریباً مشابه و بر هم منطبق می باشند. در پایه کج شده در صفحه عمود بر جریان تفاوتی در عمق آبشستگی نسبت به پایه قائم دیده نمی شود و تنها از بین رفتن حالت تقارن موجود در پروفیل بستر و تغییر محل رخداد حداکثر عمق آبشستگی مشاهده شده است.

واژه های کلیدی: آبشستگی، پایه پل کج، آب زلال، رسوب، الگوی جریان.

فهرست مطالب

صفحه

۱	کلیات	فصل اول
۲	.....	۱-۱ مقدمه
۴	.....	۲-۱ تعریف مساله و ضرورت انجام تحقیق
۵	.....	۳-۱ ساختار پایان نامه
۶	تعاریف مقدماتی و بررسی هیدرولیک جریان حول پایه	فصل دوم
۷	.....	۱-۲ مقدمه
۷	.....	۲-۲ آبخستگی
۷	.....	۱-۲-۲ آبخستگی عمومی
۸	.....	۲-۲-۲ آبخستگی عمومی بلند مدت
۸	.....	۳-۲-۲ آبخستگی عمومی کوتاه مدت
۹	.....	۴-۲-۲ آبخستگی محلی
۹	.....	۵-۲-۲ آبخستگی تنگ شدگی
۹	.....	۶-۲-۲ آبخستگی موضعی
۱۰	.....	۷-۲-۲ آبخستگی آب زلال
۱۰	.....	۸-۲-۲ آبخستگی بستر متحرک
۱۱	.....	۹-۲-۲ آبخستگی کلی
۱۲	.....	۱۰-۲-۲ شرایط آستانه حرکت رسوبات
۱۲	.....	۱۱-۲-۲ روش نیمه نظری شیلدز
۱۴	.....	۳-۲ مکانیزم آبخستگی حول پایه قائم
۱۸	مروری بر تحقیقات گذشته	فصل سوم
۱۹	.....	۱-۳ مقدمه
۱۹	.....	۲-۳ بررسی مطالعات آزمایشگاهی آبخستگی پایه پل
۳۲	.....	۳-۳ بررسی مطالعات صحرایی آبخستگی پایه پل
۳۳	.....	۴-۳ بررسی مطالعات عددی آبخستگی پایه پل
۳۵	مدلسازی آزمایشگاهی و برنامه آزمایشات	فصل چهارم
۳۶	.....	۱-۴ مقدمه
۳۶	.....	۲-۴ شناخت پارامترهای موثر و آنالیز ابعادی

۳۷	مدل و تجهیزات آزمایشگاهی	۳-۴
۳۷	فلوم آزمایشگاهی	۱-۳-۴
۳۸	سرریز و پیزومتر	۲-۳-۴
۴۰	دریچه	۳-۳-۴
۴۰	سرعت سنج سه بعدی ADV	۴-۳-۴
۴۲	عمق سنج نقطه ای	۵-۳-۴
۴۲	سیستم تزریق ماده رنگی	۶-۳-۴
۴۳	صفحه تسطیح بستر	۷-۳-۴
۴۴	پایه پل	۸-۳-۴
۴۴	رسوب	۹-۳-۴
۴۵	عمق جریان ۱۰	۱۰-۳-۴
۴۵	برنامه آزمایشات	۴-۴

۴۸	فصل پنجم اجرای آزمایشات	
۴۹	مقدمه	۱-۵
۴۹	آزمایش آستانه حرکت رسوبات	۲-۵
۵۱	آزمایش زمان تعادل	۳-۵
۵۳	آزمایشات آبشستگی	۴-۵
۵۵	آزمایشات برداشت الگوی جریان	۵-۵

۵۸	فصل ششم بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج الگوی جریان	
۵۹	مقدمه	۱-۶
۵۹	جزئیات میدان برداشت آزمایشات الگوی جریان	۲-۶
۶۲	بررسی خطوط جریان حول پایه ها	۳-۶
۶۲	پایه پل قائم	۱-۳-۶
۶۴	پایه پل کج در صفحه عمود بر جریان	۲-۳-۶
۶۵	پایه پل کج به موازات جریان به سمت پایین دست	۳-۳-۶
۶۵	بررسی تغییرات سرعت	۴-۶
۶۶	بررسی تغییرات مولفه عرضی سرعت U	۱-۴-۶
۶۷	بررسی تغییرات مولفه طولی سرعت V	۲-۴-۶
۶۸	بررسی کانتورهای سطحی مولفه طولی سرعت V	۱-۲-۴-۶
۶۹	بررسی کانتورهای عمقی مولفه طولی سرعت V در مقاطع عرضی فلوم	۲-۲-۴-۶

۷۱.....	۳-۲-۴-۶	بررسی کانتورهای عمقی مولفه طولی سرعت V در مقاطع طولی فلوم
۷۳.....	۳-۴-۶	بررسی تغییرات مولفه قائم سرعت W
۷۳.....	۱-۳-۴-۶	بررسی کانتورهای سطحی مولفه قائم سرعت W
۷۶.....	۲-۳-۴-۶	بررسی کانتورهای عمقی مولفه قائم سرعت W در مقاطع عرضی فلوم
۷۷.....	۳-۳-۴-۶	بررسی کانتورهای عمقی مولفه قائم سرعت W در مقاطع طولی فلوم
۷۸.....	۴-۴-۶	بررسی پروفیل های عمقی مولفه های طولی V و قائم W سرعت برای پایه قائم در محور مرکزی فلوم
۸۱.....	۵-۴-۶	بررسی تغییرات مقادیر حداکثر مولفه های طولی V و قائم W سرعت جریان
۸۴.....	۵-۶	بررسی توزیع تنش برشی وارد بر بستر صلب
۸۴.....	۱-۵-۶	مبانی تئوری محاسبه تنش برشی
۸۶.....	۲-۵-۶	تنش برشی بستر صلب در اطراف پایه پل در سه راستای کج شدگی متفاوت
۸۶.....	۱-۲-۵-۶	بررسی توزیع تنش برشی بستر صلب حول پایه پل در حالت قائم
۸۹.....	۲-۲-۵-۶	بررسی توزیع تنش برشی بستر صلب حول پایه پل کج شده در صفحه عمود بر جریان
۹۱.....	۳-۲-۵-۶	بررسی توزیع تنش برشی بستر صلب حول پایه پل کج شده به سمت پایین دست

فصل هفتم بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشات آبشستگی

۹۳	۹۴	۹۴
۹۴.....	۱-۷	مقدمه
۹۴.....	۲-۷	بررسی مشاهدات در آزمایش های آبشستگی
۹۷.....	۳-۷	بررسی توپوگرافی های بستر
۹۷.....	۱-۳-۷	اثر شدت جریان بر توپوگرافی های بستر
۹۸.....	۲-۳-۷	اثر قطر پایه بر توپوگرافی های بستر
۹۸.....	۳-۳-۷	اثر کج شدگی پایه در جهات متفاوت بر توپوگرافی های بستر
۱۰۲.....	۴-۷	بررسی پروفیل های طولی و عرضی حفره آبشستگی و پشته رسوبی
۱۰۲.....	۱-۴-۷	اثر قطر پایه بر پروفیل های طولی و عرضی آبشستگی
۱۰۳.....	۲-۴-۷	اثر شدت جریان بر پروفیل های طولی و عرضی
۱۰۳.....	۳-۴-۷	اثر کج شدگی پایه بر پروفیل های طولی و عرضی
۱۰۷.....	۵-۷	بررسی سایر پارامترهای حفره آبشستگی و پشته رسوبی
۱۰۸.....	۱-۵-۷	حجم رسوبات خارج شده از حفره آبشستگی
۱۱۰.....	۲-۵-۷	زاویه دیواره پایین دست چاله آبشستگی
۱۱۰.....	۳-۵-۷	طول حفره آبشستگی
۱۱۱.....	۴-۵-۷	عرض حفره آبشستگی
۱۱۲.....	۵-۵-۷	طول پشته آبشستگی
۱۱۳.....	۶-۵-۷	ارتفاع پشته رسوبی
۱۱۴.....	۶-۷	بررسی مقادیر حداکثر عمق آبشستگی
۱۱۴.....	۱-۶-۷	بررسی پایه کج شده به سمت پایین دست جریان

۱۱۶.....	بررسی پایه ۲۱ درجه کج شده به سمت پایین دست جریان	۱-۱-۶-۷
۱۱۹.....	بررسی پایه ۱۴ درجه کج شده به سمت پایین دست جریان	۲-۱-۶-۷
۱۲۰.....	بررسی پایه ۷ درجه کج شده به سمت پایین دست جریان	۳-۱-۶-۷
۱۲۱.....	بررسی پایه کج شده به سمت بالادست جریان	۲-۶-۷
۱۲۳.....	کج شده در صفحه عمود بر جریان	۳-۶-۷
۱۲۴.....	مقایسه داده های پایه قائم بانتهای تعدادی از روابط تخمین عمق آبشستگی	۷-۷
۱۲۷.....	ارائه رابطه اصلاح شده برای پایه کج به سمت پایین دست جریان	۸-۷

۱۳۰	فصل هشتم خلاصه نتایج و پیشنهادات	
۱۳۱.....	مقدمه	۱-۸
۱۳۱.....	خلاصه نتایج حاصل از الگوی جریان	۲-۸
۱۳۴.....	خلاصه نتایج حاصل از آزمایشات آبشستگی	۳-۸
۱۳۷.....	پیشنهادات	۴-۸

۱۳۸

مراجع

فهرست علائم

- D : قطر پایه
 d_{50} : قطر متوسط ذرات
 d_c : عمق جریان
 d_{eu} : اندازه موثر ذرات
 d_s : عمق حفره آبشستگی
 d_{se} : عمق تعادل آبشستگی
 Fr : عدد فرود
 g : شتاب ثقل
 H_p : ارتفاع پشته آبشستگی
 K_d : ضریب اندازه ذرات
 K_{d_c} : ضریب عمق جریان
 K_G : ضریب معرف هندسه کانال
 K_{in} : ضریب کج شدگی پایه به پایین دست
 K_s : ضریب شکل
 K_{yw} : ضریب معرف عمق نسبی
 K_α : ضریب زاویه برخورد جریان به دماغه پایه
 K_σ : ضریب غیر یکنواختی مصالح
 L_p : طول پشته آبشستگی
 L_s : طول حفره آبشستگی
 P : فشار
 Q : دبی جریان
 Re_* : رینولدز سرعت برشی
 T_1 : زمان سپری شده برای توسعه آبشستگی
 t : زمان سپری شده
 t_e : زمان تعادل
 U : سرعت در راستای عرض
 U' : نوسانات مولفه عرضی سرعت
 u_* : سرعت برشی
 u_{*c} : سرعت برشی بحرانی
 V : سرعت در راستای طول
 Vol : حجم رسوبات خارج شده
 V' : نوسانات مولفه طولی سرعت
 V_C : سرعت بحرانی
 W : سرعت در راستای قائم

W' : نوسانات مولفه قائم سرعت

W_s : عرض حفره آبستنگی

X : محور عرضی

Y : محور طولی

Z : محور قائم

α : زاویه برخورد جریان با دماغه پایه

β : زاویه کج شدگی پایه نسبت به راستای قائم

γ_s : وزن مخصوص رسوب

γ_f : وزن مخصوص سیال

θ_* : پارامتر شیلدز

ρ : چگالی ذرات بستر

ρ_f : چگالی سیال

σ_g : انحراف معیار ذرات بستر

τ : تنش برشی

τ_x : مولفه عرضی تنش برشی

τ_y : مولفه طولی تنش برشی

U : لزجت سینماتیکی

جدول ۱-۳ ضریب شکل K_s برای پایه با شکلهای مختلف	۲۴
جدول ۲-۳ ضریب شکل K_s برای انواع شکل پایه	۲۸
جدول ۳-۳ ضریب K_θ به ازای زوایای مختلف راستای پایه نسبت به محور جریان	۲۸
جدول ۴-۳ معادلا منتخب تخمین حداکثر عمق آبستگی در پایه پلها	۳۰
جدول ۱-۴ شرایط و محدوده انجام آزمایشات	۴۶
جدول ۱-۷ درصد تغییر در عمق آبستگی نسبت به حالت قائم	۱۱۹
جدول ۲-۷ درصد تغییر در عمق آبستگی نسبت به حالت قائم	۱۲۰
جدول ۳-۷ درصد تغییر در عمق آبستگی نسبت به حالت قائم	۱۲۱
جدول ۴-۷ درصد تغییر در عمق آبستگی نسبت به حالت قائم	۱۲۲
جدول ۵-۷ درصد تغییر در عمق آبستگی نسبت به حالت قائم	۱۲۴
جدول ۶-۷ مقایسه مقادیر حاصله از روابط با مقادیر مشاهداتی عمق تعادل آبستگی در پایه قائم	۱۲۵
جدول ۷-۷ نتایج روش آماری SE اعمال شده بر نتایج روابط	۱۲۷

- شکل ۱-۱ تخریب پایه پل در اثر آبشستگی در چمچال کرمانشاه ۴
- شکل ۱-۲ پل ساخته شده با پایه های کج در صفحه عمود بر جریان در کشورتایوان ۵
- شکل ۲-۲ تقسیم بندی انواع آبشستگی ۸
- شکل ۲-۲ الگوی جریان پیچیده متشکل از یکسری سیستم گردابه ای در اطراف پایه پل دایره ای ۱۰
- شکل ۲-۳ بررسی تغییرات عمق آبشستگی با زمان و سرعت جریان بین آبشستگی آب زلال و آبشستگی بستر متحرک ۱۱
- شکل ۲-۴ آبشستگی کلی در محل قرارگیری پل ۱۲
- شکل ۲-۵ دیاگرام شیلدز ۱۳
- شکل ۲-۶ نمائی تقریبی از الگوی جریان تشکیل شده در اطراف پایه پل دایره ای شکل ۱۴
- شکل ۲-۷ نمائی تقریبی از چگونگی تشکیل گرداب نعل اسبی از زاویه دید جانبی ۱۶
- شکل ۳-۱ نمودار ضریب تصحیح برای نسبت قطر پایه به قطر متوسط رسوبات ۲۱
- شکل ۳-۲ ضریب K_{σ} بعنوان تابعی از انحراف استاندارد هندسی (σ_g) ذرات ۲۲
- شکل ۳-۳ نمودار ضریب تصحیح زاویه برخورد جریان ۲۳
- شکل ۳-۴ آبشستگی در پایه های مخروطی شکل ۲۵
- شکل ۳-۵ چگونگی تخمین پارامتر T_1 ۲۶
- شکل ۳-۶ ضریب K_I در مقابل شدت جریان ۲۷
- شکل ۳-۷ ضریب K_H در مقابل نسبت قطر پایه به اندازه رسوب ۲۸
- شکل ۴-۱ فلوم مستقیم آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس ۳۷
- شکل ۴-۲ پلان و مقطع طولی فلوم مستقیم ۳۸
- شکل ۴-۳ نمودار ضرایب K_H و C_d ۳۹
- شکل ۴-۴ سرریز و پیزومتر برای اندازه گیری دبی ۳۹
- شکل ۴-۵ نمایی از دریچه ۴۰
- شکل ۴-۶ سرعت سنج ADV و پروب مورد استفاده آن در آزمایشات ۴۱
- شکل ۴-۷ عمق سنج نقطه ای الکترونیکی ۴۲
- شکل ۴-۸ سیستم تزریق ماده رنگی و نمونه ای از عملکرد آن ۴۳
- شکل ۴-۹ صفحه تسطیح بستر ۴۳
- شکل ۴-۱۰ منحنی دانه بندی رسوبات ۴۴
- شکل ۵-۱ نمودار تغییرات زمانی عمق آبشستگی پایه پل دایره ای شکل با حداکثر کج شدگی در صفحه عمود بر محور طولی فلوم در شرایط آستانه ۵۱
- شکل ۵-۲ نمودار تغییرات زمانی عمق آبشستگی پایه پل دایره ای شکل با زوایای متفاوت کج شدگی در راستای جریان به سمت پایین دست [Bozkus and Yaldiz (2004)] ۵۲
- شکل ۵-۳ نمونه ای از بستر صاف شده و پایه کج ۵۳
- شکل ۵-۴ نمونه ای از حفره آبشستگی ایجاد شده ۵۴

- شکل ۵-۵ نمونه ای از نقاط نامنظم قرائت شده به همراه توپوگرافی بستر رسم شده توسط نرم افزار Surfer ۵۵
- شکل ۵-۶ تجهیزات استفاده شده در برداشت الگوی جریان ۵۶
- شکل ۵-۷ استفاده از صفحه فلزی برای جلوگیری از ایجاد حفره آبشستگی ۵۷
- شکل ۶-۱ نمونه ای از نمای سه بعدی ساده شده میدان برداشت سرعت در آزمایش شماره ۱ و شبکه برداشت سرعت ها که محل قرارگیری متغییر (به علت کجی پایه) پایه دایره ای در ترازهای متفاوت در قالب ناحیه ای سیاه رنگ نشان داده شده است ۶۰
- شکل ۶-۲ شبکه برداشت سرعت ها اطراف پایه قائم ۶۱
- شکل ۶-۳ میدان سه بعدی برداشت سرعت و شبکه برداشت سرعت اطراف پایه کج به پایین دست ۶۱
- شکل ۶-۴ خطوط جریان در پنج تراز (d/d.) متفاوت برای پایه قائم و خطوط جریان عمقی نشان دهنده مکش فوق العاده در پشت پایه در صفحه عبوری از مرکز پایه در طول فلوم ۶۳
- شکل ۶-۵ خطوط جریان در پنج تراز (d/d.) متفاوت برای پایه کج در صفحه عمود بر جریان ۶۴
- شکل ۶-۶ خطوط جریان در چهار تراز (d/d.) متفاوت برای پایه کج به موازات جریان به سمت پایین دست و خطوط جریان عمقی در پشت پایه ۶۶
- شکل ۶-۷ به عنوان نمونه کانتورهای مولفه عرضی سرعت در نزدیک بستر و نزدیک سطح آب در پایه قائم که از لحاظ تقارن مشابه حالت کج شده به سمت پایین دست نیز می باشد ۶۷
- شکل ۶-۸ کانتورهای مولفه عرضی سرعت در نزدیک بستر و نزدیک سطح آب در پایه کج شده در صفحه عمود بر جریان ۶۷
- شکل ۶-۹ کانتورهای مولفه طولی سرعت به موازات بستر برای پایه قائم، پایه کج در صفحه عمود بر جریان و پایه کج به سمت پایین دست ۶۸
- شکل ۶-۱۰ کانتورهای مولفه طولی سرعت در عمق برای مقاطع عرضی پایه قائم و پایه کج در صفحه عمود بر جریان ۷۰
- شکل ۶-۱۱ کانتورهای مولفه طولی سرعت در عمق برای مقاطع طولی پایه قائم و پایه کج شده به سمت پایین دست ۷۲
- شکل ۶-۱۲ کانتورهای مولفه قائم سرعت به موازات بستر برای پایه قائم و پایه کج در صفحه عمود بر جریان ۷۴
- شکل ۶-۱۳ کانتورهای مولفه قائم سرعت به موازات بستر برای پایه کج شده به سمت پایین دست ۷۵
- شکل ۶-۱۴ کانتورهای مولفه قائم سرعت در عمق برای مقاطع عرضی پایه قائم ۷۶
- شکل ۶-۱۵ مسیر حرکت (خط جریان) سه بعدی المانی از سیال در محل جداشدگی جریان و شکل سه بعدی دسته ای از خطوط جریان گردباد مانند شکل گرفته در پشت پایه کج در صفحه عمود بر جریان ۷۷
- شکل ۶-۱۶ کانتورهای مولفه قائم سرعت در عمق برای مقاطع عرضی پایه کج در صفحه عمود بر جریان ۷۷
- شکل ۶-۱۷ کانتورهای مولفه قائم سرعت در عمق برای مقاطع طولی پایه قائم و پایه کج شده به سمت پایین دست ۷۸
- شکل ۶-۱۸ پروفیل های عمقی مولفه طولی سرعت جریان برای بالادست پایه قائم در محور مرکزی فلوم ۷۹
- شکل ۶-۱۹ پروفیل های عمقی مولفه طولی سرعت جریان برای پایین دست پایه قائم در محور مرکزی فلوم ۸۰
- شکل ۶-۲۰ پروفیل های عمقی مولفه قائم سرعت جریان برای بالادست پایه قائم در محور مرکزی فلوم ۸۰
- شکل ۶-۲۱ پروفیل های عمقی مولفه قائم سرعت جریان برای پایین دست پایه قائم در محور مرکزی ۸۱
- شکل ۶-۲۲ تغییرات مولفه طولی حداکثر سرعت جریان برای پایه قائم، پایه کج در صفحه عمود بر جریان و پایه کج به پایین دست در تراز های متفاوت ۸۲

- شکل ۶-۲۳ تغییرات مولفه قائم حداکثر سرعت جریان برای پایه قائم، پایه کج در صفحه عمود بر جریان و پایه کج به پایین دست در ترازهای متفاوت ۸۳
- شکل ۶-۲۴ تنشهای آشفتگی (تنشهای رینولدز) وارد بر یک المان فرضی ۸۴
- شکل ۶-۲۵ توزیع سرعت در جریان آشفته در ناحیه قانون جداره ۸۵
- شکل ۶-۲۶ شبکه برداشت سرعت و تنش برشی محاسبه شده در اطراف پایه قائم واقع بر بستر صلب ۸۷
- شکل ۶-۲۷ توزیع تنش برشی در نواحی نزدیک پایه قائم واقع بر بستر صلب ۸۷
- شکل ۶-۲۸ شیارهای شکل گرفته در طرفین پایه (لحظات ابتدای آزمایش) ۸۸
- شکل ۶-۲۹ شبکه برداشت سرعت و تنش برشی محاسبه شده در اطراف پایه کج شده در صفحه عمود بر جریان ۸۹
- شکل ۶-۳۰ پروفیل بستر شکل گرفته با حفره و پشته رسوبی نامتقارن در پایین دست در شرایط آزمایش ۱ ۹۰
- شکل ۶-۳۱ توزیع تنش برشی در نواحی نزدیک پایه کج شده در صفحه عمود بر جریان واقع بر بستر صلب ۹۰
- شکل ۶-۳۲ توزیع سرعت های راستای قائم (W) و محل وقوع دانقلو ۹۱
- شکل ۶-۳۳ شبکه برداشت سرعت و تنش برشی محاسبه شده در اطراف پایه کج شده به پایین دست ۹۲
- شکل ۷-۱ جریان پایین رونده در برابر پایه ، گرداب نعل اسبی در برابر پایه و گرداب غلتکی سطحی در سطح آب برابر دماغه پایه ۹۴
- شکل ۷-۲ مکش گردباد مانند در پشت پایه ، بلند شدن ذرات از پشت پایه و پرتاب آنها به داخل جریان ، جدا شدگی جریان در جناحین پایه، حرکت عکس جهت جریان فلوم در پشت پایه و طبیعت تصادفی شکل گیری گرداب های برخاستگی ۹۶
- شکل ۷-۳ نحوه جداشدگی جریان بر پایه کج در صفحه عمود بر جریان و پایه کج به سمت بالادست ۹۷
- شکل ۷-۴ تاثیر شدت جریان بر ابعاد حفره و پشته رسوبی ناشی از پایه قائم ۵ سانتیمتری برای $V/V_c=0.74$ و $V/V_c=0.86$ ۹۸
- شکل ۷-۵ تاثیر کج شدگی پایه به سمت بالادست بر حفره آبشستگی و پشته رسوبی در $V/V_c=0.98$ (پایه قائم و پایه کج با قطر 5CM) ۹۹
- شکل ۷-۶ تاثیر کج شدگی پایه در صفحه عمود بر جریان بر حفره آبشستگی و پشته رسوبی در $V/V_c=0.86$ در پایه با قطر 5cm ۹۹
- شکل ۷-۷ تاثیر کج شدگی پایه در صفحه عمود بر جریان بر پشته رسوبی و جابجایی محل حداکثر عمق آبشستگی ۱۰۰
- شکل ۷-۸ تاثیر کج شدگی پایه به سمت پایین دست جریان بر توپوگرافی بستر در زوایای متفاوت کج شدگی [پایه قائم، ۷ درجه کج، ۱۴ درجه کج، ۲۱ درجه کج بعنوان نمونه برای پایه با قطر 5cm در $V/V_c=0.86$] ۱۰۱
- شکل ۷-۹ مقایسه پروفیل های طولی و عرضی در پایه های با قطر متفاوت بعنوان نمونه در پایه قائم در $V/V_c=0.86$ ۱۰۲
- شکل ۷-۱۰ مقایسه پروفیل های طولی و عرضی در پایه ۱۴ درجه کج به سمت پایین دست بعنوان نمونه در شرایط جریان متفاوت ۱۰۳
- شکل ۷-۱۱ مقایسه پروفیل های طولی و عرضی در پایه با کج شدگی به سمت پایین دست برای زوایای متفاوت کج شدگی در شرایط جریان متفاوت ($V/V_c=0.98$ ، $V/V_c=0.92$ ، $V/V_c=0.86$ ، $V/V_c=0.8$) ۱۰۴
- شکل ۷-۱۲ مقایسه پروفیل های طولی و عرضی در پایه با کج شدگی به سمت بالادست در شرایط جریان متفاوت ($V/V_c=0.98$ ، $V/V_c=0.92$ ، $V/V_c=0.86$ ، $V/V_c=0.8$) ۱۰۵

- شکل ۷-۱۳ مقایسه پروفیل های طولی و عرضی در پایه با کج شدگی در صفحه عمود بر جریان در شرایط جریان متفاوت
 ۱۰۶..... ($V/V_c=0.98$, $V/V_c=0.92$, $V/V_c=0.86$, $V/V_c=0.8$)
- شکل ۷-۱۴ تاثیر کج شدگی پایه به سمت بالادست بر حجم رسوب خارج شده از حفره آبشستگی
 ۱۰۸.....
- شکل ۷-۱۵ تاثیر کج شدگی پایه در صفحه عمود بر جریان بر حجم رسوب خارج شده از حفره آبشستگی
 ۱۰۹.....
- شکل ۷-۱۶ تاثیر کج شدگی پایه به سمت پایین دست در سه زاویه متفاوت بر حجم رسوب خارج شده از حفره
 آبشستگی
 ۱۰۹.....
- شکل ۷-۱۷ تاثیر کج شدگی پایه بر زاویه دیواره پایین دست حفره آبشستگی نسبت به افق برای کج شدگی در صفحه عمود
 بر جریان، کج شدگی به پایین دست در زوایای متفاوت و کج شدگی به بالادست
 ۱۱۰.....
- شکل ۷-۱۸ تاثیر کج شدگی پایه بر طول بدون بعد حفره آبشستگی برای کج شدگی در صفحه عمود بر جریان، کج شدگی
 به پایین دست در زوایای متفاوت و کج شدگی به بالادست
 ۱۱۱.....
- شکل ۷-۱۹ تاثیر کج شدگی پایه بر عرض بدون بعد حفره آبشستگی برای کج شدگی در صفحه عمود بر جریان، کج شدگی
 به پایین دست در زوایای متفاوت و کج شدگی به بالادست
 ۱۱۲.....
- شکل ۷-۲۰ تاثیر کج شدگی پایه بر طول بدون بعد پشته آبشستگی برای کج شدگی در صفحه عمود بر جریان، کج شدگی
 به پایین دست در زوایای متفاوت و کج شدگی به بالادست
 ۱۱۳.....
- شکل ۷-۲۱ تاثیر کج شدگی پایه بر ارتفاع بدون بعد پشته آبشستگی برای کج شدگی در صفحه عمود بر جریان، کج شدگی
 به پایین دست در زوایای متفاوت و کج شدگی به بالادست
 ۱۱۴.....
- شکل ۷-۲۲ تاثیر کج شدگی پایه به سمت پایین دست در زوایای متفاوت بر حداکثر عمق آبشستگی در شرایط جریان
 متفاوت برای پایه 4cm
 ۱۱۵.....
- شکل ۷-۲۳ تاثیر کج شدگی پایه به سمت پایین دست در زوایای متفاوت بر حداکثر عمق آبشستگی در شرایط جریان
 متفاوت برای پایه 5cm
 ۱۱۶.....
- شکل ۷-۲۴ تاثیر ۲۱ درجه کج شدگی پایه به سمت پایین دست بر حداکثر عمق آبشستگی برای شرایط جریان و قطر پایه
 متفاوت
 ۱۱۶.....
- شکل ۷-۲۵ تغییرات dse/D در برابر قطر پایه (D) برای شرایط جریان یکسان [Ettema et al.(2006)]
 ۱۱۷.....
- شکل ۷-۲۶ نمایی کلی از نحوه شکل گیری جریان پایین رونده و بردارهای سرعت در جلو پایه قائم و کج شده به سمت
 پایین دست
 ۱۱۸.....
- شکل ۷-۲۷ تاثیر ۱۴ درجه کج شدگی پایه به سمت پایین دست بر حداکثر عمق آبشستگی برای شرایط جریان و قطر پایه
 متفاوت
 ۱۱۹.....
- شکل ۷-۲۸ تاثیر ۷ درجه کج شدگی پایه به سمت پایین دست بر حداکثر عمق آبشستگی برای شرایط جریان و قطر پایه
 متفاوت
 ۱۲۰.....
- شکل ۷-۲۹ تاثیر کج شدگی پایه به سمت بالا دست بر حداکثر عمق آبشستگی در شرایط جریان و قطر پایه متفاوت
 ۱۲۱.....
- شکل ۷-۳۰ نمایی کلی از نحوه شکل گیری جریان پایین رونده و بردارهای سرعت در جلو پایه قائم و کج شده به سمت بالا
 دست
 ۱۲۲.....
- شکل ۷-۳۱ شکل گیری جریان پایین رونده ناشی از مولفه مماسی برآیند سرعت طولی جریان در مقابل پایه کج شده به
 سمت بالا دست
 ۱۲۳.....

- شکل ۳۲-۷ تاثیر کج شدگی پایه در صفحه عمود بر جریان بر حداکثر عمق آبشستگی در شرایط جریان و قطر پایه متفاوت ۱۲۳.
- شکل ۳۳-۷ مقایسه مقادیر عمق آبشستگی پیش بینی شده توسط هریک از روابط با مقادیر مشاهداتی ۱۲۶.....
- شکل ۳۴-۷ نمودار ضریب کج شدگی پایه به سمت پایین دست برای رابطه Melville (1997) ۱۲۸.....
- شکل ۳۵-۷ مقایسه مقادیر پیش بینی شده عمق آبشستگی توسط رابطه اصلاح شده Melville (1997) با مقادیر مشاهده شده ۱۲۸.....