دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در (مهندسی عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی)

عنوان:

طراحی فلوم آزمایشگاهی و تحقیق بر روی تعیین طول توسعه‌یافتگی جریان

استاد راهنما:

دکتر محمد گیوه‌چی

استاد مشاور:

دکتر عبدالحمید بحرپیما

تحقیق و نگارش:

حسین ذبیحی

(این پایان نامه از حمایت مالی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره‌مند شده است)

بهمن ۱۳۹۲

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنـوان **طراحی فلوم آزمایشگاهی و تحقیق بر روی تعیین طول توسعه‌یافتگی جریـان** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی توسط دانشـجو حسین ذبیحی تحت راهنمایی استاد پایان نامه دکتر محمد گیوه‌چی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشـگاه سیسـتان و بلوچسـتان مجاز است.

(حسین ذبیحی)

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می‌شود و در تاریخ توسط هیئت داوران بررسی و درجه به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:			
استاد راهنما:			
استاد مشاور:			
داور ۱:			
داور ۲:			
نماینده تحصیلات تکمیلی:			

تعهدنامه اصالت اثر

این‌جانب حسین ذبیحی تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی این‌جانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان است.

نام و نام خانوادگی دانشجو: حسین ذبیحی

امضاء

ماحصل آموخته‌هایم را **تقدیم** می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگی‌ام، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانی‌تان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم، رضای شما.

همچنین این مجموعه را **تقدیم** می‌کنم

به خانـــــواده‌ام همراهان همیشگی و پشتوانه‌های زندگی‌ام

که با زیبایی حضورشان در کنارم، خستگی‌های این راه را به امید و روشنی تبدیل کرده‌اند. امیدوارم قادر به درک زیبایی‌های وجودشان باشم و بتوانم در آینده‌ی نزدیک جوابگوی این همه محبت آن‌ها باشم...

سپاسگزاری

از استاد گرامیم جناب آقای دکتر محمد گیوه‌چی بسیار سپاسگزارم چرا که با راهنمایی‌ها و صبر توجه ایشان این پایان نامه به سرانجام رسید و همچنین از جناب دکتر عزیزیان که اطلاعات بسیار مفیدی در جهت پیشبرد این تحقیق در اختیارم قراردادند سپاسگزاری می‌نمایم. در اینجا لازم میدانم از جناب دکتر صانعی و مهندس خراسانی که امکان بازدید از مؤسسات تحقیقاتی را فراهم نموده‌اند تشکر نمایم. از دوستان عزیزم آقای میلاد گوران، مهندس امیری، مهندس کرمی راد، مهندس رنجبران مهندس عزیزپور و سرکار خانم اسماعیلی به دلیل یاری‌ها و راهنمایی‌های بی چشمداشتشان که بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان‌تر نمودند مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام نمایم.

چکیده:

در تمام تحقیقات تئوریکی که در زمینه آب و سازه‌های هیدرولیکی صورت می‌گیرد، نیاز است تا نتایج مدل‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گیرد و پس از اطمینان از صحت نتایج مدل‌سازی، آنگاه تغییرات مورد نیاز را در مدل ایجاد نموده و به بررسی و مطالعه مدل جدید، پرداخت. بنابراین وجود یک آزمایشگاه مجهز و دقیق اجتناب‌ناپذیر است. ساخت فلوم آزمایشگاهی به منظور مطالعه و درک بهتر مسائل هیدرولیکی همچون جریان‌های ثانویه، فرسایش، رسوب و جریان غیردائمی، ضروری است.

در رابطه با طراحی کانال، محققین روابط و محدودیت‌هایی را جهت طراحی کانال‌های فرسایشی و غیر فرسایشی بیان نموده‌اند که از جمله می‌توان به آیین‌نامه USBR اشاره کرد. در همین راستا شرکت‌های خارجی معتبری چون PLINT, E.R.Armfield, Gunt, HR.Wallingford در زمینه طراحی فلوم آزمایشگاهی فعالیت می‌نمایند و در ایران، موسسه تحقیقات مرکز آب نیز چند فلوم آزمایشگاهی را برای دانشگاه‌های داخل کشور طراحی نموده است.

هدف از ارائه این پایان نامه طراحی فلوم آزمایشگاهی و ملحقات آن است. با بررسی چند فلوم از دانشگاه‌ها و مؤسسات داخلی و خارجی و با توجه به موقعیت آزمایشگاه‌های دانشکده مهندسی دانشگاه سیستان و بلوچستان، نوع و ابعاد فلوم انتخاب گردید. پس از تعیین طول توسعه‌یافتگی جریان توسط شبیه‌سازی عددی و همچنین با بهره‌گیری از مبانی هیدرولیک، هیدرودینامیک و نرم‌افزارهای مرتبط، به طراحی هیدرولیکی فلوم مبادرت شده است. طراحی سازه‌ای فلوم نیز بر اساس آیین‌نامه‌های معتبر صورت گرفته و در نهایت نقشه‌های اجرایی جهت ساخت این فلوم ارائه گردید. در این تحقیق به طراحی فلوم‌های آزمایشگاهی با مشخصات زیر پرداخته شده است:

- فلوم به طول ۱۷ متر، عمق در مقطع عرضی فلوم ۷۰ سانتیمتر و عرض فلوم ۷۰ سانتیمتر که قابلیت تغییر شیب را نیز دارا است.
- فلوم بزرگ مقیاس به طول ۲۲ متر، عمق در مقطع عرضی فلوم ۱/۳ متر و عرض فلوم ۲/۵ متر است.

کلمات کلیدی: فلوم آزمایشگاهی – جریان غیردائمی – جریان ثانویه – طول توسعه‌یافتگی جریان – شبیه‌سازی عددی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق ۲

۱-۳- اهداف تحقیق ۳

۱-۴- تقسیم موضوعی تحقیق ۳

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین **۵**

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲-۱- پیشینه تجربی تحقیق ۶

۲-۲-۲- پیشینه عددی تحقیق ۹

۲-۳- فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در چند مقاله ۱۱

۲-۴- بررسی فلومهای دانشگاهها و مؤسسات تحقیقاتی ۲۱

۲-۴-۱- معرفی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ۲۱

۲-۴-۱-۱- معرفی فلوم شماره ۱، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ۲۱

۲-۴-۱-۲- معرفی فلوم شماره ۲، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ۲۲

۲-۴-۱-۳- معرفی فلوم شماره ۳، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ۲۲

۲-۴-۲- معرفی فلوم دانشگاه فردوسی مشهد ۲۳

۲-۴-۳- معرفی مرکز تحقیقات آب ۲۵

۲-۴-۳-۱- معرفی فلوم شماره ۱، مرکز تحقیقات آب ۲۵

۲-۴-۳-۲- معرفی فلوم شماره ۲ مرکز تحقیقات آب ۲۶

۲-۴-۴- معرفی فلومهای دانشگاه خواجه نصیر طوسی ۲۷

۲-۴-۴-۱- معرفی فلوم شماره ۱(فلوم مولد موج) دانشگاه خواجه نصیر طوسی ۲۷

۲-۴-۴-۲- معرفی فلوم شماره ۲ دانشگاه خواجه نصیر طوسی ۲۸

۲-۴-۵- معرفی فلوم مؤسسه تحقیقاتی E.R.Armfield ۲۵

۲-۴-۶- معرفی فلوم دانشگاه نیوکاسل انگلستان ۲۹

۲-۴-۷- معرفی فلوم دانشگاه اوکلند نیوزلند ۳۰

۲-۴-۸- معرفی فلوم سازمان مرکز تحقیقات ماساچوست ۳۱

۲-۴-۹- ابعاد چند فلوم از دانشگاههای کشور ۳۱

۲-۵- محدودیتهای ساخت مدل و انتخاب طرح ۳۲

۲-۶- جمع‌بندی مطالب ۳۲

فصل سوم: مبانی نظری تحقیق ۳۵
۳-۱- مقدمه ۳۶
۳-۲- معادلات حاکم بر جریان ۳۶
۳-۳- جریان آشفته (متلاطم)..... ۳۷
۳-۳-۱- معادلات حاکم بر جریان آشفته ۳۷
۳-۳-۲- مدل‌های آشفتگی ۳۹
۳-۴- طراحی کانال‌های غیر فرسایشی..... ۴۰
۳-۴-۱- محاسبات جریان یکنواخت (طراحی هیدرولیکی کانال) ۴۰
۳-۴-۲- ضریب زبری مانینگ ۴۲
۳-۴-۳- زبری معادل ۴۲
۳-۵- سرریزهای انتهایی فلوم..... ۴۳
۳-۵-۱- هیدرولیک سرریز لبه تیز مستطیلی ۴۴
۳-۶- طول توسعه‌یافته در کانال..... ۴۶
۳-۷- معرفی نرم‌افزارهای مورد استفاده ۴۷
۳-۷-۱- معرفی نرم‌افزار ANSYS- FLUENT ۴۷
۳-۷-۲- آشنایی با نرم‌افزار SAP2000 ..... ۴۸
۳-۷-۳- معرفی نرم‌افزار HEC-RAS ۴۹

فصل چهارم: طراحی فلوم آزمایشگاهی ۵۰
۴-۱- مقدمه ۵۱
۴-۲-۱- بخش اول: طراحی هیدرولیکی ۵۱
۴-۲-۲- شبیه‌سازی عددی مدل آزمایشگاهی ۵۵
۴-۲-۲-۱- تعریف هندسه و شبکه‌بندی کانال ۵۶
۴-۲-۲-۲- شرایط مرزی ۶۰
۴-۲-۲-۲-۱- شرط مرزی دیواره فلوم ۶۱
۴-۲-۲-۲-۲- شرط مرزی سطح آزاد ۶۱
۴-۲-۲-۳- انتخاب مدل آشفتگی ۶۲
۴-۲-۳- معتبر سازی نتایج مدل‌سازی عددی به کمک نتایج آزمایشگاهی ۶۲
۴-۲-۴ شبیه‌سازی جریان آب در فلوم ۶۵
۴-۲-۵- نحوه محاسبه و رسم منحنی‌های هم سرعت در مقطع فلوم ۶۷
۴-۲-۶- طراحی تبدیل ورودی ۶۹
۴-۲-۷- منحنی دبی- اشل (Rating Curves) ۶۹
۴-۲-۷-۱- روابط محاسباتی ۷۰
۴-۲-۷-۲- تحلیل نتایج گراف دبی – اشل ۷۳
۴-۲-۸- طراحی دریچه تنظیم ارتفاع آب در کانال فلوم ۷۳

۴-۲-۸-۱- تحلیل نتایج طراحی دریچه تنظیم ارتفاع آب ۸۰
۴-۲-۹- انتخاب پمپ ۸۰
۴-۲-۹-۱- لوله رانش ۸۴
۴-۲-۹-۲- صافی ۸۴
۴-۲-۹-۳- شیر یک‌طرفه ۸۴
۴-۲-۹-۴ شیر کشویی ۸۵
۴-۲-۹-۵ مخزن تحت فشار ۸۵
۴-۲-۹-۶- مخزن اندازه‌گیری دبی ۸۵
۴-۲-۹-۷- مخزن آب ۸۵
۴-۲-۱۰- جمع‌بندی طراحی هیدرولیکی ۸۶
۴-۳-۱- طراحی سازه‌ای فلوم ۸۷
۴-۳-۲- تعریف حالت بار ۸۸
۴-۳-۲-۱- بار آب ۸۸
۴-۳-۲-۲- بار زلزله ۹۰
۴-۳-۳- طراحی نگه‌دارنده جداره فلوم ۹۱
۴-۳-۴- محاسبه ارتفاع جان نگه‌دارنده ۹۳
۴-۳-۴-۱- طراحی پیچ‌های اتصال سازه نگه‌دارنده منفصل جداره ۹۳
۴-۳-۴-۲- کنترل فواصل پیچ‌های اتصال سازه نگه‌دارنده به یال خرپا ۹۴
۴-۳-۵- دریچه تنظیم ارتفاع آب ۹۵
۴-۳-۶-۱- کنترل طراحی یال خرپا و محاسبه طول جوش اتصال ۹۵
۴-۳-۶-۲- کنترل طراحی یال تحت نیروی فشاری ۹۷
۴-۳-۷-۱- کنترل طراحی عضو بادبندی و محاسبه طول جوش اتصال ۹۸
۴-۳-۷-۲- کنترل طراحی عضو بادبندی تحت نیروی فشاری ۹۹
۴-۳-۸- طراحی نبشی ستون و پیچ‌های اتصال ۹۹
۴-۳-۸-۱- کنترل پیچ‌های اتصال در نبشی ستون ۹۹
۴-۳-۸-۲- کنترل فواصل پیچ‌ها در نبشی ستون ۱۰۰
۴-۳-۹- طراحی نبشی اتصال دو خرپا ۱۰۰
۴-۳-۹-۱- کنترل تنش برشی در پیچ‌های نبشی اتصال دو خرپا ۱۰۱
۴-۳-۹-۲- کنترل فواصل پیچ‌ها در نبشی اتصال دو خرپا ۱۰۲
۴-۳-۹-۳- کنترل پارگی در نبشی‌های اتصال دو خرپا ۱۰۲
۴-۳-۱۰-۱- کنترل طراحی ستون تکیه‌گاه و محاسبه طول جوش اتصال ۱۰۳
۴-۳-۱۰-۲- طراحی جوش اتصال ستون تکیه‌گاهی ۱۰۳
۴-۳-۱۱- انتخاب جک بالابر ۱۰۴
۴-۳-۱۲- تکیه‌گاه ۱۰۴
۴-۴- لوازم اندازه‌گیری آزمایشگاهی مورد نیاز در فلوم ۱۰۵
۴-۴-۱- فلومتر ۱۰۵
۴-۴-۲- مولینه (جریان سنج آب) ۱۱۰

۴-۴-۳- سطح سنج ۱۱۱
۴-۴-۴- ثبت‌کننده دادها یا دیتالاگر(Data Logger) ۱۱۲
۴-۴-۵- سیستم مانیتورینگ ۱۱۳
۴-۵- مقایسه فلوم طراحی شده با دیگر فلوم‌ها ۱۱۳

فصل پنجم: جمع‌بندی نهایی و ارائه پیشنهادها..... ۱۱۵
۵-۱- مقدمه ۱۱۶
۵-۲- جمع‌بندی نتایج..... ۱۱۶
۵-۳- پیشنهادها..... ۱۱۸
۵-۳-۱- پیشنهادهایی در خصوص محل آزمایشگاه هیدرولیک..... ۱۱۹
مراجع ۱۲۲
پیوست (الف) - نقشه اجرایی فلوم آزمایشگاهی..... ۱۲۹
پیوست (ب) - طراحی فلوم بزرگ مقیاس ۱۵۰

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱. شرایط آزمایش جاولو و همکاران ۱۳

جدول ۲-۲. مشخصات آزمایش‌های عباسی و حبیبی ۱۴

جدول ۲-۳. محدوده دبی، سرعت و عمق در آزمایش‌های فرسادی‌زاده و حسین‌زاده ۱۵

جدول۲-۴. محدوده دبی و سرعت در آزمایش‌های مالتی و همکاران ۱۷

جدول۲-۵. محدوده دبی و سرعت در آزمایش‌های لانزونی ۲۰

جدول ۳-۱. ضرایب زیری مانینگ برای کانال و مجرا با جدارهای مختلف ۴۲

جدول ۴-۱. نتایج محاسبات هیدرولیکی فلوم ۵۴

جدول ۴-۲. مشخصات مدل آزمایشگاهی تومیناگا و همکاران ۵۶

جدول ۴-۳. شرایط مرزی مورد استفاده در شبیه‌سازی فلوم ۶۵

جدول ۴-۴. طول توسعه‌یافتگی جریان ۶۷

جدول ۴-۵. ضریب منطقه‌ای G ۹۰

جدول ۴-۶. ضریب تأثیر نوع خاک B ۹۱

جدول ۴-۷. طبقه‌بندی خاک ۹۱

جدول ۴-۸. جدول انتخاب فلومتر ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱. پلان و مقطع فلوم در آزمایش‌های عباسی و حبیبی ۱۴

شکل ۲-۲. طرح شماتیکی از نیم‌رخ طولی فلوم آزمایشگاهی موسسه کلکته هند ۱۶

شکل ۲-۳. طرح شماتیکی از نمای پلان و نیم‌رخ طولی فلوم آزمایشگاهی دانشگاه شیراز ۱۸

شکل ۲-۴. طرح شماتیکی از نیم‌رخ طولی فلوم آزمایشگاهی دانشگاه کن فرانسه ۱۸

شکل ۲-۵. طرح شماتیکی از نمای پلان فلوم آزمایشگاهی دانشگاه اسلامی واحد اهواز ۱۹

شکل ۲-۶. فلوم شماره ۱ مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ۲۱

شکل ۲-۷. فلوم شماره ۲، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ۲۲

شکل ۲-۸. فلوم شماره ۳، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری ۲۳

شکل ۲-۹. فلوم دانشگاه فردوسی مشهد ۲۴

شکل ۲-۱۰. فلوم شماره ۱ مرکز تحقیقات آب ۲۵

شکل ۲-۱۱. پمپ و مخزن مخصوص جهت مخلوط کردن آب و ذرات ریزدانه ۲۶

شکل ۲-۱۲. فلوم شماره ۲ مرکز تحقیقات آب ۲۶

شکل ۲-۱۳. فلوم شماره ۱ دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی (مولد موج) ۲۷

شکل ۲-۱۴. فلوم شماره ۲ دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ۲۸

شکل ۲-۱۵. فلوم مؤسسه تحقیقات Armfield ۲۹

شکل ۲-۱۶. فلوم دانشگاه نیوکاسل انگلستان ۳۰

شکل ۲-۱۷. فلوم دانشگاه اوکلند نیوزلند ۳۰

شکل ۲-۱۸. فلوم سازمان مرکز تحقیقات زمین‌شناسی، اکتشافات معدنی ماساچوست ۳۱

شکل ۳-۱. نمودار تعیین عمق نرمال ۴۱
شکل ۳-۲. جریان از روی سرریز لبه‌تیز ۴۵
شکل ۳-۳. رشد لایه مرزی در ورودی کانال ۴۷
شکل ۴-۱. شبکه‌بندی مقطع کانال ۵۸
شکل ۴-۲. شبکه‌بندی طولی کانال ۵۸
شکل ۴-۳. شبکه‌بندی دیواره کانال ۵۹
شکل ۴-۴. استقلال شبکه ۵۹
شکل ۴-۵. مقایسه منحنی تراز سرعت داده‌های آزمایشگاهی و مدل آشفتگی تنش رینولدز ۶۳
شکل ۴-۶. مقایسه منحنی تراز سرعت داده‌های آزمایشگاهی و مدل آشفتگی $K-\omega$ ۶۳
شکل ۴-۷. سرعت جریان آب در فلوم آزمایشگاهی توسط فلوئنت ۶۴
شکل ۴-۸. فشار استاتیکی جریان آب در فلوم آزمایشگاهی توسط فلوئنت ۶۴
شکل ۴-۹. معرفی سطح آزاد جریان توسط روش VOF ۶۵
شکل ۴-۱۰. شبکه برداشت سرعت در فلوئنت ۶۸
شکل ۴-۱۱. وضعیت کانتورهای سرعت در مقاطع عرضی فلوم در مدل S6 ۶۸
شکل ۴-۱۲. نمایش مؤلفه‌های مختلف تبدیل ورودی فلوم ۶۹
شکل ۴-۱۳. منحنی دبی - اشل فلوم در حالت افقی و مقایسه بین روابط ضریب زبری ۷۰
شکل ۴-۱۴. گراف دبی – اشل با استفاده از رابطه ضریب زبری هورتن – اینستین. ۷۰
شکل ۴-۱۵. گراف دبی – اشل با استفاده از رابطه ضریب زبری پاولوفسکی ۷۲
شکل ۴-۱۶. گراف دبی – اشل با استفاده از رابطه ضریب زبری لوتر ۷۲
شکل ۴-۱۷. مدل نمودن فلوم و دریچه انتهایی در نرم‌افزار HEC-RAS ۷۴
شکل ۴-۱۸. پروفیل سطح آب هنگامی که دریچه در تراز ۵۰ سانتیمتری قرار دارد. ۷۵
شکل ۴-۱۹. پروفیل سطح آب هنگامی که دریچه در تراز ۴۵ سانتیمتری قرار دارد ۷۵
شکل ۴-۲۰. پروفیل سطح آب هنگامی که دریچه در تراز ۴۰ سانتیمتری قرار دارد. ۷۶
شکل ۴-۲۱. پروفیل سطح آب هنگامی که دریچه در تراز ۳۵ سانتیمتری قرار دارد. ۷۶
شکل ۴-۲۲. پروفیل سطح آب هنگامی که دریچه در تراز ۳۰ سانتیمتری قرار دارد. ۷۷

شکل ۴-۲۳. پروفیل سطح آب هنگامی که دریچه در تراز ۲۵ سانتیمتری قرار دارد. ۷۷
شکل ۴-۲۴. پروفیل سطح آب هنگامی که دریچه در تراز ۲۰ سانتیمتری قرار دارد. ۷۸
شکل ۴-۲۵. پروفیل سطح آب هنگامی که دریچه در تراز ۱۰ سانتیمتری قرار دارد. ۷۸
شکل ۴-۲۶. پروفیل سطح آب هنگامی که دریچه در تراز ۵ سانتیمتری قرار دارد. ۷۹
شکل ۴-۲۷. پروفیل سطح آب - دریچه در ترازهای مختلف. ۷۹
شکل ۴-۲۸. منحنی همپوشانی پمپ‌های گریز از مرکز پمیران ۸۱
شکل ۴-۲۹. منحنی راندمان پمپ ۸۱
شکل ۴-۳۰. مشخصات الکتروموتور پمپ انتخابی ۸۲
شکل ۴-۳۱. مشخصات کلی پمپ انتخابی با ابعاد اندازه. ۸۲
شکل ۴-۳۲. طراحی اتصالات پمپ و مخزن. ۸۳
شکل ۴-۳۳. استفاده از مخزن به عنوان سکو و تانکر آب ۸۵
شکل ۴-۳۴. نمایی از محیط نرم‌افزار SAP2000 ۸۷
شکل ۴-۳۵. فشار هیدرو استاتیکی بر دیواره فلوم ۸۹
شکل ۴-۳۶. مدل نمودن سازه نگه‌دارنده منفصل به تیر یکسر گیر دار ، یکسر مفصل ۹۲
شکل ۴-۳۷. نمودار خمش، برش و عکس‌العمل تکیه‌گاهی سازه نگه‌دارنده منفصل جداره فلوم ۹۲
شکل ۴-۳۸. مقطع موثر در برابر لنگر خمشی ۹۳
شکل ۴-۳۹. وضعیت قرارگیری جک ۱۰۴
شکل ۴-۴۰. فلومتر گردابی. ۱۰۶
شکل ۴-۴۱. دستگاه سرعت‌سنج مولینه ۱۱۰
شکل ۴-۴۲. دستگاه ثبت‌کننده دادها (دیتالاگر) ۱۱۳
شکل۵-۱. پلان ساختمان آزمایشگاه دانشکده مهندسی عمران و مکانیک دانشگاه سیستان و بلوچستان ۱۲۱
شکل ۶-۱. پلان مدخل ورودی فلوم (۱) ۱۲۹
شکل ۶-۲. پلان مدخل ورودی فلوم (۲) ۱۳۰
شکل ۶-۳. پلان مدخل ورودی فلوم (۳) ۱۳۱
شکل ۶-۴. وضعیت قرارگیری نگه‌دارنده‌های ثابت و منفصل جداره فلوم ۱۳۲

شکل ۶-۵. نقشه اجرایی نگه‌دارنده منفصل جداره فلوم ۱۳۳
شکل ۶-۶. نقشه اجرایی نگه‌دارنده‌های ثابت جداره فلوم ۱۳۴
شکل ۶-۷. نقشه اجرایی دریچه تنظیم ارتفاع آب در فلوم (۱) ۱۳۵
شکل ۶-۸. نقشه اجرایی دریچه تنظیم ارتفاع آب در فلوم (۲) ۱۳۵
شکل ۶-۹. مقاطع اعضاء (۱) ۱۳۷
شکل ۶-۱۰. مقاطع اعضاء (۲) ۱۳۸
شکل ۶-۱۱. مقاطع اعضاء (۳) ۱۳۹
شکل ۶-۱۲. مقاطع اعضاء (۴) ۱۴۰
شکل ۶-۱۳. مقاطع اعضاء (۵) ۱۴۱
شکل ۶-۱۴. مقاطع اعضاء (۶) ۱۴۲
شکل ۶-۱۵. مقاطع اعضاء (۷) ۱۴۳
شکل ۶-۱۶. مقاطع اعضاء (۸) ۱۴۴
شکل ۶-۱۷. نقشه اجرایی اتصال ستون تکیه‌گاهی (۱) ۱۴۵
شکل۶-۱۸. نقشه اجرایی اتصال ستون تکیه‌گاهی (۲) ۱۴۶
شکل ۶-۱۹. نقشه اجرایی اتصال ستون تکیه‌گاهی (۳) ۱۴۷
شکل ۶-۲۰. نقشه اجرایی تکیه‌گاه (۱) ۱۴۸
شکل ۶-۲۱. نقشه اجرایی تکیه‌گاه (۲۱) ۱۴۹
شکل ب-۱. پلان فلوم بزرگ مقیاس ۱۵۱
شکل ب-۲. برش a-a از شکل (ب-۱) ۱۵۱
شکل ب-۴. منحنی همپوشانی پمپ‌های گریز از مرکز پمیران ۱۵۲
شکل ب-۵. مشخصات کلی پمپ انتخابی. ۱۵۳
شکل ب-۶. منحنی راندمان پمپ ۱۵۴
شکل ب-۷. پلان تأسیسات ۱۵۶
شکل ب-۸. مدل قسمت میانی در برنامه SAP2000 ۱۵۶
شکل ب-۹. فشار هیدرو استاتیکی بر دیواره فلوم بزرگ مقیاس ۱۵۷

شکل ب-۱۰. نحوه وصله نمودن پروفیل ۱۵۸
شکل ب-۱۱. نمودار آزاد ورق اتصال جان ۱۶۰
شکل ب-۱۲. نقشه اجرایی ورودی فلوم(۱) ۱۶۲
شکل ب-۱۳. نقشه اجرایی ورودی فلوم(۲) ۱۶۳
شکل ب-۱۴. نقشه اجرایی خروجی فلوم(۱) ۱۶۴
شکل ب-۱۵. نقشه اجرایی خروجی فلوم(۲) ۱۶۵
شکل ب-۱۶. نمای برش از فلوم بزرگ مقیاس ۱۶۶
شکل ب-۱۷. مقاطع اعضاء فلوم بزرگ مقیاس (۱) ۱۶۷
شکل ب-۱۸. مقطع وصله تیرها ۱۶۸
شکل ب-۱۹. جداره فلوم ۱۶۹
شکل ب-۲۰. مقاطع اعضاء فلوم بزرگ مقیاس (۲) ۱۷۰
شکل ب-۲۱. مقاطع اعضاء فلوم بزرگ مقیاس (۳) ۱۷۱

فهرست علائم

علامت	نشانه
A_e	سطح مقطع موثر خالص
A_g	سطح مقطع کل
A_W	سطح موثر جوش
a_w	بعد جوش
B	ضریب تأثیر نوع خاک
C	ضریب زلزله
d	قطر اسمی پیچ
$E60$	مقاومت نهایی کششی فلز الکترود
F_U	تنش نهایی مصالح
F_{VW}	تنش مجاز برشی جوش
F_y	تنش تسلیم فولاد
f_r	تنش برشی برآیند در جوش گوشه
G	ضریب منطقه‌ای
h	ارتفاع آب در کانال
I	ضریب تأثیر اهمیت سازه
J_W	ممان اینرسی قطبی جوش گوشه
L	طول ظاهری
L_e	فاصله از مرکز سوراخ استاندارد تا لبه قطعه متصل شونده
$L_{la\min er}$	طول توسعه‌یافته در لوله برای جریان‌های آرام

$L_{lTurbulene}$	طول توسعه‌یافته در لوله برای جریان‌های متلاطم
L_W	طول جوش
M	لنگر خمشی
M_f	سهم بال از لنگر خمشی
M_W	سهم جان از لنگر خمشی
p	فشار هیدرواستاتیکی
P_{fm}	نیروی بال تیر ناشی از لنگر خمشی
Q	دبی عبوری
$r_{\min}$	شعاع ژیراسیون محور ضعیف
S	حداقل فواصل سوراخ‌ها
V	سرعت آب در لوله
φ	ضریب بازرسی
γ	وزن مخصوص آب
σ	تنش

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در تمام تحقیقات تئوریکی که در زمینه آب و سازه‌های هیدرولیکی صورت می‌گیرد، نیاز است تا نتایج مدل‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گیرد و پس از اطمینان از صحت نتایج مدل‌سازی، آنگاه تغییرات مورد نیاز را در مدل ایجاد نموده و به بررسی و مطالعه مدل جدید، پرداخت. بنابراین وجود یک آزمایشگاه مجهز و دقیق اجتناب‌ناپذیر است. همچنین اگر جریان مورد بررسی را نتوان با روش‌های موجود تحلیلی و یا روش‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای حل نمود، می‌توان با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی به تجزیه و تحلیل جریان پرداخت.

سیستم‌های منابع آب سیستم‌های پیچیده‌ای هستند. این پیچیدگی‌ها ناشی از عواملی چون پویایی، اندرکنش اجزاء با یکدیگر و رفتارهای غیرخطی اجزای سیستم می‌باشند. مطالعه دنیای واقعی به دلیل پیچیدگی‌های یادشده به صورت مستقیم امکان‌پذیر نیست و با آزمایش و شبیه‌سازی نمودن پدیده‌های مختلف تا حدودی شناخت ما را از دنیای واقعی میسر می‌سازد [۱]. بنابراین طراحی و ساخت فلوم آزمایشگاهی متناسب با نیازهای تحقیقاتی به منظور مطالعه و درک بهتر مسائل هیدرولیکی همچون جریان‌های ثانویه، فرسایش، رسوب و جریان غیردائمی، آبشستگی ضروری و بسیار مفید است. مشاهده مقالات معتبر علمی گواه این مطلب است که فلوم آزمایشگاهی کمک شایانی را در امر تحقیق و ارائه مقالات علمی نموده است.

در بسیاری از پژوهش‌های هیدرولیکی که در کانال روباز صورت می‌گیرد، نیاز است که آب پس از ورود به کانال و طی مسافتی به حالت توسعه‌یافته برسد به عبارت دیگر در حین اجرای آزمایش مشخصات جریان ثابت است. بنابراین در هنگام طراحی فلوم باید دقت شود، ابعاد فلوم طوری طراحی گردد تا علاوه بر تأمین سرعت و دبی‌های مورد نیاز برای آزمایش‌های مختلف، طول توسعه‌یافتگی را نیز تأمین نماید.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

از مزیت‌های مدل آزمایشگاهی توانایی بالقوه آن برای شبیه‌سازی برخی ویژگی‌های پیچیده جریان است. برای مثال، شرایط متغیر آبشستگی موضعی بستر آبرفتی در اطراف پایه‌های پل، خطوط لوله مستغرق و سایر سازه‌های هیدرولیکی به گونه‌ای است که تنها روش جهت دست‌یابی به بینش صحیح در تصمیم‌گیری‌های طراحی و بهره‌برداری، استفاده از مدل آزمایشگاهی خواهد بود [۱]. بسیاری از دانشگاه‌های داخل و خارج کشور مجهز به تجهیزات آزمایشگاهی دقیق و فلوم‌های آزمایشگاهی بزرگ می‌باشند به طور مثال دانشگاه نیوکاسل