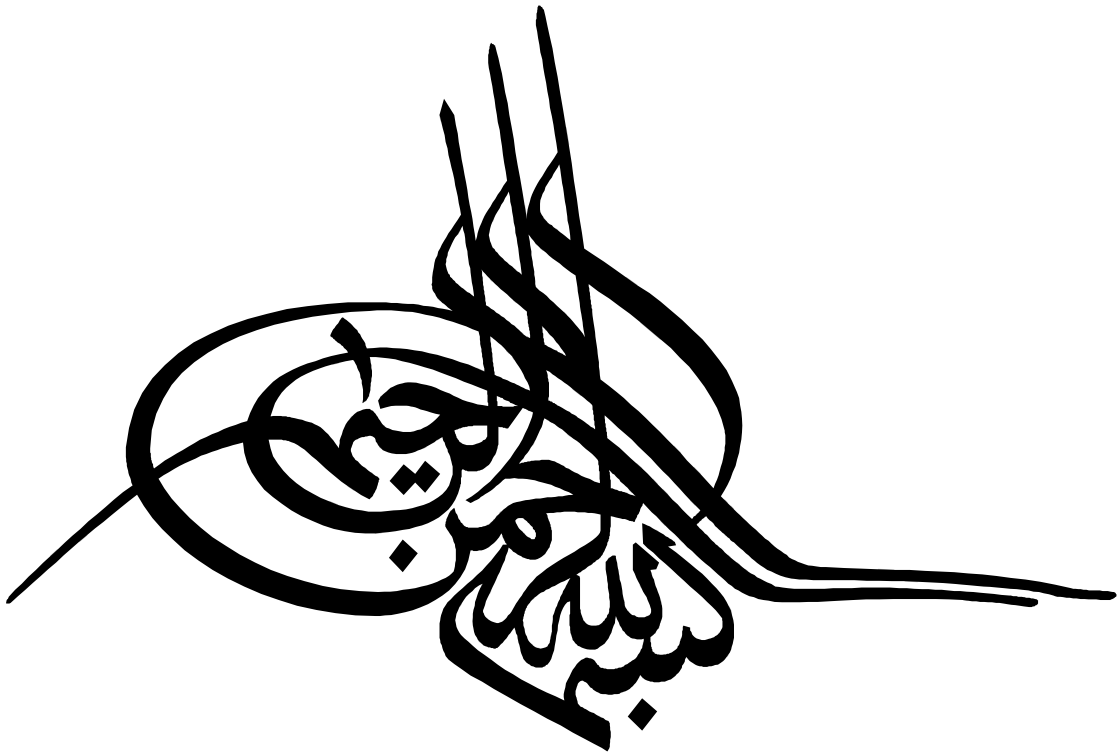
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی عمران

عنوان پایان نامه

برآورد ضریب دارسی- ویسباخ جهت تحلیل جریان های با سطح آزاد

نگارش:

حیدر همتی

اساتید راهنما:

دکتر سید تقی (امید) نائینی

دکتر جلال بازرگان

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی سازه های هیدرولیکی

بهمن ۱۳۸۷

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که برای موفقیتم، صمیمانه و دلسوزانه تلاش کردند.

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب بوده و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده، مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضاء:

چکیده:

تحلیل جریان های رو باز، عمدتاً با روابط تجربی مانینگ یا شزی صورت می گیرد. از آنجایی کـه روابـط تجربی در دامنه نسبتاً گسترده ای از ویژگـی‌هـای جریـان و خصوصـیات فیزیکـی مصـالح بسـتر دارای دقـت مناسبی نمی باشد. لذا استفاده از رابطه دارسی- ویسباخ که دارای پایه تحلیلی- تجربی است مورد توجـه قـرار می‌گیرد . استفاده از رابطه دارسی- ویسباخ با لحاظ کردن تأثیر عواملی همچون عـدد رینولـدز، عـدد فـرود و خصوصیات فیزیکی مصالح بستر از قبیل اندازه ذرات مصالح بستر، تخلخل، شـکل، ضـخامت مصـالح بسـتر بـر روی ضریب زبری بستر یا ضریب اصطکاک دارسی - ویسباخ، می‌تواند به تحلیل دقیق جریانهای با سـطح آزاد کمک نماید . در پژوهش حاضر برای دست یافتن به چگونگی تـأثیر زبـری بسـتر بـر ضـریب زبـری، تحقیقـی آزمایشگاهی با در نظر گرفتن مصالح بستر با خصوصـیات فیزیکـی متفـاوت انجـام گرفتـه اسـت. بـرای انجـام آزمایشات از فلومی به طول ۱۰ متر، عرض ۲۰۰ میلیمتر و ارتفاع ۴۰۰ میلیمتـر اسـتفاده شـده اسـت. مصـالح مورد استفاده در بستر فلوم از دو نوع شکسته و گردگوشه و هر کدام با سه نوع دانه بندی انتخاب شـده اسـت. آزمایشات برای دبی جریان در محدوده $0/4\,lit/s$ تا $24\,lit/s$ صورت گرفت. در این تحقیـق عـدد رینولـدز بین ۲۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰۰ و عدد فرود در محدودهٔ بین ۰/۰۲ و ۰/۷ قرار داشت. هر یک از شش نـوع دانـه بنـدی با سه ضخامت مختلف در بستر کانال به صورت یکسان در طول پخش شده است. همچنـین در هـر آزمـایش، عمق جریان در نقاط مشخص شده بر روی کانال ثبت می‌گردید. این عمـل بـرای ۱۸ حالـت مختلـف صـورت گرفته و پارامترهای مورد نیاز برای تحلیل در شرایط جریان یکنواخت، با استفاده از روش عددی اولر محاسـبه شده است. علاوه بر انجام آزمایشات فوق، با استفاده از روش هـای آمـاری، روابـط مختلـف ارائـه شـده توسـط پژوهشگران قبلی، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. روابط پیشنهادی توسـط مـارک.جـی.ویلسـون، بیشـترین همبستگی و کمترین خطا را داشت. در نهایت روابط تجربی جدیدی برای بـرآورد ضـریب اصـطکاک دارسـی- ویسباخ (f) در حالت مرزی صاف و زبر(گردگوشه و شکسته) توسعه داده شده اسـت. پارامترهـای موجـود در این روابط با استفاده از نرم افزار SPSS بـراسـاس بیشـترین همبسـتگی و بـالاترین جامعیـت از لحـاظ بیـان خصوصیات هیدرولیکی و هندسی، درنظر گرفته شده است. نتایج بـه دسـت آمـده حـاکی از آن اسـت کـه بـا افزایش قطر مصالح بستر و ضخامت رسوبات، ضریب دارسی- ویسباخ افزایش می‌یابد.

واژه های کلیدی: جریانهای با سطح آزاد، ضریب دارسی- ویسباخ، زبری، تخلخل، عدد رینولدز، عدد فرود.

تقدیر و تشکر

از جناب آقای ***دکتر سید تقی(امید) نائینی*** که مرا در مراحل مختلف تهیه و تدوین مطالب این پایان نامه راهنمایی‌کردند و تجهیزات آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکدهٔ مهندسی عمران را در اختیار اینجانب گذاشته و تلاشی صمیمانه جهت انجام آزمایش‌ها به عمل آوردند، کمال تشکر و امتنان را دارم و از خداوند منان، آرزوی توفیق روزافزون ایشان را در تمامی عرصه های زندگی خواستارم.

ازجناب آقای ***دکترجلال بازرگان*** نیزکه با راهنماییهای مفید خویش، نقش مهمی را در نحوه انجام آزمایش‌ها و تکمیل مطالب این پایان نامه ایفا کرده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم و از خداوند متعال آرزوی موفقیت هر چه بیشتر ایشان را خواستارم.

از جناب آقای ***مهندس حبیبی*** کارشناس و مسئول آزمایشگاه مصالح که با در اختیارگذاشتن وسایل مورد نیاز و تهیه مصالح مورد آزمایش اینجانب را یاری فرمودند، صمیمانه تشکر می نمایم.

از اعضای خانواده خود بخصوص پدر و مادرم که در طول انجام کار پژوهشی حاضر مشوق بنده بودند، از صمیم قلب تشکر می نمایم.

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
تعهد نامه	د
چکیده	ه
تقدیر وتشکر	و
فهرست مطالب	ز
فهرست جداول	ل
فهرست شکلها	ن
فهرست علائم	ق
فصل اول	
کلیات	**۱**
۱-۱ مقدمه	۱
۱-۲ بیان موضوع	۲
۱-۳ روش تحقیق و اهداف	۳
۱-۴ تقسیم بندی موضوعی پایان نامه	۴
فصل دوم	
مروری بر سوابق تحقیقاتی	**۵**
۲-۱ مقدمه	۵
۲-۲ مفهوم افت اصطکاکی و توزیع تنش برشی	۵
۲-۳ رژیم های جریان و انواع مرز	۶
۲-۴ فرمول های مقاومت	۸
۲-۴- ۱ فرمول مانینگ	۹
۲-۴-۱-۱ عوامل موثر بر مقاومت جریان و ضریب مانینگ	۱۱

۲-۴-۱-۲ روش های مستقیم تخمین ضریب زبری مانینگ ۱۳
۲-۴-۱-۳ ضریب زبری به عنوان تابعی ازشعاع هیدرولیکی و شیب خط انرژی ۱۵
۲-۴-۱-۴ ضریب زبری به عنوان تابعی ازپارامترهای ژئوتکنیکی مصالح بستر ۱۵
۲-۴-۲ فرمول دارسی-ویسباخ ۱۷
۲-۴-۲-۱ توزیع سرعت لگاریتمی کارمن – پرانتل ۱۸
۲-۵ جمع بندی ۲۰

فصل سوم

دستگاه و مدل آزمایشگاهی ۲۱

۳-۱ مقدمه ۲۱
۳-۲ اجزاء دستگاه آزمایش ۲۱
۳-۲-۱ مخزن زمینی اصلی ۲۲
۳-۲-۲ پمپ ۲۳
۳-۲-۳ مخزن هوایی سرریز شونده ۲۴
۳-۲-۴ لوله های انتقال آب ۲۵
۳-۲-۵ کانال ۲۶
۳-۲-۶ سرریز مثلثی ۳۰
۳-۲-۷ وسایل آرام کننده جریان ۳۲
۳-۲-۷-۱ آرام کننده ورودی کانال ۳۲
۳-۲-۷-۲ آرام کننده ورودی سرریز ۳۲
۳-۲-۸ دماسنج ۳۳
۳-۳ نحوه دانه بندی و آماده سازی مصالح بستر ۳۳
۳-۳-۱ مشخصات مصالح ۳۴
۳-۳-۱-۱ مصالح شکسته ۳۴
۳-۳-۱-۲ مصالح گردگوشه ۳۶

۳-۳-۲ دانه بندی مصالح جهت استفاده در آزمایش ۳۸
۳-۳-۲-۱ دانه بندی مصالح شکسته ۴۰
۳-۳-۲-۱- ۱ دانه بندی نوع I از مصالح شکسته ۴۰
۳-۳-۲-۱-۲ دانه بندی نوع II از مصالح شکسته ۴۱
۳-۳-۲-۱-۳ دانه بندی نوع III از مصالح شکسته ۴۲
۳-۳-۲-۲ دانه بندی مصالح گردگوشه ۴۳
۳-۳-۲-۲-۱ دانه بندی نوع I از مصالح گردگوشه ۴۳
۳-۳-۲-۲-۲ دانه بندی نوع II از مصالح گردگوشه ۴۳
۳-۳-۲-۲-۳ دانه بندی نوع III از مصالح گردگوشه ۴۴
۳-۴ نصب و راه اندازی دستگاه آزمایش ونحوه آماده سازی مصالح بستر ۴۵
۳-۴-۱ نحوه راه اندازی دستگاه ۴۵
۳-۴-۲ اندازه گیری تخلخل ۴۷
۳-۴-۳ عمق سنج ۴۸
۳-۵ خطاهای آزمایشگاهی ۴۹
۳-۵-۱ خطاهای سیستمی ۴۹
۳-۵-۱-۱ خطاهای مقیاسی به خاطر وجود کشش سطحی ۴۹
۳-۵-۲ روش های اجراء ۵۰
۳-۵-۳ خطاهای اتفاقی ۵۰
۳-۶ جمع بندی ۵۱
فصل چهارم
مشاهدات آزمایشگاهی ۵۲
۴-۱ مقدمه ۵۲
۴-۲ روش اندازه گیری دبی ۵۲
۴-۳ نحوه انجام آزمایش ۵۶

۴-۴ مشاهدات آزمایشگاهی ۵۸
۴-۵ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح شکسته ۵۹
۴-۵-۱ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستربا مصالح شکسته، حالت یک ۵۹
۴-۵-۲ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستربا مصالح شکسته، حالت دو ۶۰
۴-۵-۳ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح شکسته، حالت سه ۶۱
۴-۵-۴ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح شکسته، حالت چهار ۶۱
۴-۵-۵ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح شکسته، حالت پنج ۶۲
۴-۵-۶ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح شکسته، حالت شش ۶۳
۴-۵-۷ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح شکسته، حالت هفت ۶۳
۴-۵-۸ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح شکسته، حالت هشت ۶۴
۴-۵-۹ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح شکسته، حالت نه ۶۵
۴-۶ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح گردگوشه ۶۵
۴-۶-۱ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت یک ۶۵
۴-۶-۲ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت دو ۶۶
۴-۶-۳ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت سه ۶۷
۴-۶-۴ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت چهار ۶۷
۴-۶-۵ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت پنج ۶۸
۴-۶-۶ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت شش ۶۹
۴-۶-۷ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت هفت ۶۹
۴-۶-۸ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت هشت ۷۰
۴-۶-۹ مشاهدات آزمایشگاهی برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت نه ۷۱

فصل پنجم

تحلیل مشاهدات آزمایشگاهی وبرآورد ضریب زبری ۷۲

۵-۱ مقدمه ۷۲
۵-۲ بازسازی داده های آزمایشگاهی ۷۳
۵-۲-۱ روش عمق نرمال ۷۳
۵-۳ فرمول مانینگ ۷۵
۵-۴ فرمول دارسی- ویسباخ ۷۸
۵-۴-۱ معادله کلبروک- وایت ۸۰
۵-۴-۲ معادله مارک.جی.ویلسون ۸۳
۵-۵ معادله پیشنهادی ۸۷
۵-۵-۱ آنالیز ابعادی ۸۷
۵-۶ جمع بندی ۹۷
فصل ششم
نتیجه گیری و پیشنهادات **۹۸**
۶-۱ مقدمه ۹۸
۶-۲ نتیجه گیری ۹۸
۶-۳ پیشنهادات ۱۰۰
منابع و مآخذ ۱۰۱
پیوست اول. مشاهدات و داده های خام آزمایشگاهی
پیوست دوم. نحوه محاسبه و برآورد عمق نرمال
پیوست سوم. بازسازی داده های آزمایشگاهی

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول ۲-۱ مقادیر n برای برخی سطوح ۱۰

جدول ۲-۲ ضرایب معادله ۲-۵۰ ۱۹

جدول۳-۱ مشخصات و دانه بندی مصالح شکسته بادامی ۳۴

جدول۳-۲ مشخصات و دانه بندی مصالح شکسته نخودی ۳۵

جدول۳-۳ مشخصات و دانه بندی مصالح گردگوشه بادامی ۳۶

جدول۳-۴ مشخصات و دانه بندی مصالح گردگوشه نخودی ۳۷

جدول۳-۵ نسبت های ترکیبی مصالح بادامی و نخودی ۳۸

جدول۳-۶ مشخصات الک های مورد استفاده در آزمایش ۳۹

جدول ۳-۷ درصد عبوری از الک دانه بندی نوع I از مصالح شکسته ۴۱

جدول ۳-۸ درصد عبوری از الک دانه بندی نوع II از مصالح شکسته ۴۱

جدول ۳-۹ درصد عبوری از الک دانه بندی نوع III از مصالح شکسته ۴۲

جدول۳-۱۰ درصد عبوری از الک دانه بندی نوع I از مصالح گردگوشه ۴۳

جدول۳-۱۱ درصد عبوری از الک دانه بندی نوع II از مصالح گردگوشه ۴۴

جدول۳-۱۲ درصد عبوری از الک دانه بندی نوع III از مصالح گردگوشه ۴۴

جدول۳-۱۳ ارقام مربوط به اندازه گیری تخلخل(حالت ۱، دانه بندی نوع I از مصالح شکسته) ۴۷

جدول ۳-۱۲ درصد خطاهای تصادفی درضریب دارسی-ویسباخ ۵۱

جدول۴-۱ ارتفاع آب روی سرریز و مدت زمان پر شدن مخزن پیمانه ۵۴

جدول۴-۲ دبی محاسبه شده با استفاده از مخزن پیمانه ۵۴

جدول۴-۳ حالت های مختلف مصالح شکسته ریخته شده در کانال ۵۸

جدول۴-۴ حالت های مختلف مصالح گردگوشه ریخته شده در کانال ۵۸

جدول۴-۵ ارقام مربوط به کف کانال ۵۸

جدول۴-۶ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت یک مصالح شکسته) ۵۹
جدول۴-۷ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت دو مصالح شکسته) ۶۰
جدول۴-۸ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت سه، از مصالح شکسته) ۶۱
جدول۴-۹ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت چهار از مصالح شکسته) ۶۱
جدول۴-۱۰ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت پنج از مصالح شکسته) ۶۲
جدول۴-۱۱ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت شش از مصالح شکسته) ۶۳
جدول۴-۱۲ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت هفت از مصالح شکسته) ۶۳
جدول۴-۱۳ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت هشت از مصالح شکسته) ۶۴
جدول۴- ۱۴ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت نه از مصالح شکسته) ۶۵
جدول۴-۱۵مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت یک از مصالح گردگوشه) ۶۵
جدول۴-۱۶مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت دو از مصالح گردگوشه) ۶۶
جدول۴-۱۷ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت سه از مصالح گردگوشه) ۶۷
جدول۴-۱۸ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت چهار از مصالح گردگوشه) ۶۷
جدول۴-۱۹ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت پنج از مصالح گردگوشه) ۶۸
جدول۴-۲۰ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت شش از مصالح گردگوشه) ۶۹
جدول۴-۲۱ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت هفت از مصالح گردگوشه) ۶۹
جدول۴-۲۲ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت هشت از مصالح گردگوشه) ۷۰
جدول۴-۲۳ مشاهدات ثبت شده برای اندازه گیری تخلخل(حالت نه از مصالح گردگوشه) ۷۱
جدول۵-۱ درصد متوسط خطای پیش بینی برای مرزهای زبربا فرمول مانینگ ۷۸
جدول ۵-۲ ضرایب محاسبه شده برای معادله کلبروک- وایت برای حالت های مختلف ۸۳
جدول ۵-۳ ضرایب معادله ۵-۱۳ ۸۳
جدول ۵-۴ ضرایب محاسبه شده برای معادله ویلسون برای حالت های مختلف ۸۷
جدول ۵-۵ مقایسه بین متوسط خطاهای پیش بینی شده برای معادلات مختلف ۹۷

فهرست شکلها

عنوان **شماره صفحه**

شکل ۲-۱ مقطع طولی کانال جهت تحلیل جریان در عمق طبیعی ۵

شکل ۳-۱ نمایی از سیکل چرخشی سیستم موجود ۲۲

شکل ۳-۲ اجزاء مختلف مخزن زمینی اصلی ۲۳

شکل ۳-۳ موتور پمپ مورد استفاده در آزمایش ۲۴

شکل ۳-۴ نمایی ازمخزن هوایی سرریز شونده ۲۵

شکل ۳-۵ لوله های انتقال آب ۲۵

شکل ۳-۶ شکل شماتیک ازکانال ۲۸

شکل ۳-۷ کانال مورد آزمایش ۲۸

شکل ۳-۸ طرز قرار گرفتن المان های خرپایی پایه ها ۲۹

شکل ۳-۹ اتصالات المان های خرپایی پایه ها ۲۹

شکل ۳-۱۰ نحوه اتصال و نصب نبشی روی کانال ۳۰

شکل ۳-۱۱ شکل شماتیک سرریز ۳۱

شکل ۳-۱۲ نمایی از سرریز مثلثی و محل خروجی آب ۳۱

شکل ۳-۱۳ محفظه آرام کننده جریان ورودی کانال ۳۲

شکل ۳-۱۴ توری آرام کننده جریان ورودی سرریز ۳۳

شکل ۳-۱۵ نمودار دانه بندی مصالح شکسته بادامی ۳۴

شکل ۳-۱۶ مصالح شکسته بادامی ۳۵

شکل ۳-۱۷ نمودار دانه بندی مصالح شکسته نخودی ۳۵

شکل ۳-۱۸ مصالح شکسته نخودی ۳۶

شکل ۳-۱۹ مصالح گردگوشه بادامی ۳۷

شکل ۳-۲۰ نمودار دانه بندی مصالح گردگوشه بادامی ۳۷

شکل ۳-۲۱ نمودار دانه بندی مصالح گردگوشه نخودی ۳۸
شکل ۳-۲۲ مصالح گردگوشه نخودی ۳۸
شکل ۳-۲۳ الک های مورد استفاده در آزمایش ۴۰
شکل ۳-۲۴ نحوه آرایش الک های مورد استفاده در آزمایش ۴۰
شکل ۳-۲۵ نمودار دانه بندی نوع I از مصالح شکسته ۴۱
شکل ۳-۲۶ نمودار دانه بندی نوع II از مصالح شکسته ۴۲
شکل ۳-۲۷ نمودار دانه بندی نوع III از مصالح شکسته ۴۲
شکل۳-۲۸ نمودار دانه بندی نوع I از مصالح گردگوشه ۴۳
شکل۳-۲۹ نمودار دانه بندی نوع II از مصالح گردگوشه ۴۴
شکل۳-۳۰ نمودار دانه بندی نوع III از مصالح گردگوشه ۴۵
شکل۳-۳۱ دستگاه مورد آزمایش ۴۵
شکل۳-۳۲ شیرهای تنظیم جریان ۴۶
شکل۳-۳۳ نحوه تسطیح مصالح درکانال ۴۶
شکل ۳-۳۴ نحوه اندازه گیری تخلخل ۴۸
شکل۳-۳۵ نحوه قرارگیری عمق سنج بر روی کانال ۴۸
شکل۳-۳۶ نحوه قرارگیری عمق سنج بر روی سرریز مثلثی ۴۹
شکل۴-۱ پمپ های مورد استفاده در کالیبراسیون سرریز ۵۳
شکل۴-۲ منحنی دبی- اشل سرریز ۵۵
شکل ۴-۳ شمای سرریز لبه تیز مثلثی ۵۶
شکل۴-۴ نمایی از کانال و اجزاء آن ۵۸
شکل۴-۱ پمپ های مورد استفاده در کالیبراسیون سرریز ۵۳
شکل۴-۲ منحنی دبی- اشل سرریز ۵۵
شکل ۴-۳ شمای سرریز لبه تیز مثلثی ۵۶
شکل۴-۴ نمایی از کانال و اجزاء آن ۵۸

شکل۴-۵ تغییرات عمق آب برای بستر بدون دانه بندی ۵۹
شکل۴-۶ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح شکسته،حالت یک برای دبی‌های مختلف ۶۰
شکل۴-۷ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح شکسته، حالت دو برای دبی‌های مختلف ۶۰
شکل۴-۸ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح شکسته، حالت سه برای دبی‌های مختلف ۶۱
شکل۴-۹ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح شکسته، حالت چهار برای دبی‌های مختلف ۶۲
شکل۴-۱۰ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح شکسته، حالت پنج برای دبی‌های مختلف ۶۲
شکل۴-۱۱ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح شکسته، حالت شش برای دبی‌های مختلف ۶۳
شکل۴-۱۲ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح شکسته، حالت هفت برای دبی‌های مختلف ۶۴
شکل۴-۱۳ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح شکسته، حالت هشت برای دبی‌های مختلف ۶۴
شکل۴-۱۴ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح شکسته، حالت نه برای دبی‌های مختلف ۶۵
شکل۴-۱۵ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت یک برای دبی‌های مختلف ۶۶
شکل۴-۱۶ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت دو برای دبی‌های مختلف ۶۶
شکل۴-۱۷ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت سه برای دبی‌های مختلف ۶۷
شکل۴-۱۸ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت چهار برای دبی‌های مختلف ۶۸
شکل۴-۱۹ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت پنج برای دبی‌های مختلف ۶۸
شکل۴-۲۰ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت شش برای دبی‌های مختلف ۶۹
شکل۴-۲۱ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت هفت برای دبی‌های مختلف ۷۰
شکل۴-۲۲ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت هشت برای دبی‌های مختلف ۷۰
شکل۴-۲۳ تغییرات عمق آب برای بستر با مصالح گردگوشه، حالت نه برای دبی‌های مختلف ۷۱
شکل۵-۱ نمودار تغییرات ضریب زبری مانینگ در مقابل شعاع هیدرولیکی برای مصالح شکسته نوع I ۷۶
شکل۵-۲ نمودار تغییرات ضریب زبری مانینگ در مقابل شعاع هیدرولیکی برای مصالح گردگوشه نوع I ۷۶
شکل۵-۳ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده سرعت متوسط در مقابل شعاع هیدرولیکی برای مرز صاف وn=۰/۰۱ ۷۷
شکل۵-۴ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده سرعت متوسط در مقابل شعاع هیدرولیکی برای مرز زبر وn= ۰/۰۲۵ دانه بندی نوع I مصالح شکسته ۷۷
شکل۵-۵ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده سرعت متوسط در مقابل شعاع هیدرولیکی برای مرز زبر وn= ۰/۰۲ دانه بندی نوع I مصالح گردگوشه ۷۷

شکل۵-۶ درجه همبستگی f با شعاع هیدرولیکی R برای دانه بندی نوع I مصالح شکسته ۷۸
شکل۵-۷ درجه همبستگی f با عدد رینولدز Re برای دانه بندی نوع I مصالح شکسته ۷۹
شکل۵-۸ درجه همبستگی f با شعاع هیدرولیکی R برای دانه بندی نوع I مصالح گردگوشه ۷۹
شکل۵-۹ درجه همبستگی f با عدد رینولدز Re برای دانه بندی نوع I مصالح گردگوشه ۷۹
شکل۵-۱۰ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله کلبروک- وایت و ضرایب پیشنهادی رینیوس برای مرز صاف ۸۰
شکل۵-۱۱ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله کلبروک- وایت و ضرایب پیشنهادی رینیوس برای مرز زبر با مصالح شکسته و با دانه بندی نوع II ۸۱
شکل۵-۱۲ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله کلبروک- وایت و ضرایب پیشنهادی رینیوس برای مرز زبر با مصالح گردگوشه با دانه بندی نوع III ۸۱
شکل۵-۱۳ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله کلبروک- وایت و ضرایب اصلاحی برای مرز صاف ۸۲
شکل۵-۱۴ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله کلبروک- وایت و ضرایب اصلاحی برای مرز زبر با مصالح شکسته با دانه بندی نوع II ۸۲
شکل۵-۱۵ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله کلبروک- وایت و ضرایب اصلاحی برای مرز زبر با مصالح گردگوشه با دانه بندی نوع III ۸۳
شکل۵-۱۶ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله ویلسون برای مرز صاف با استفاده از ضرایب جدول۵-۲ ۸۴
شکل۵-۱۷ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله ویلسون برای مرز زبر ومصالح شکسته با استفاده از ضرایب جدول۵-۲ ۸۴
شکل۵-۱۸ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله ویلسون برای مرز زبر ومصالح شکسته با استفاده از ضرایب جدول۵-۲ ۸۵
شکل۵-۱۹ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله ویلسون و ضرایب اصلاحی برای مرز صاف ۸۵
شکل۵-۲۰ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله ویلسون و ضرایب اصلاحی برای مرز زبر با مصالح شکسته ۸۶
شکل۵-۲۱ مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده f با معادله ویلسون و ضرایب اصلاحی برای مرز زبر با مصالح گردگوشه ۸۶
شکل۵-۲۲ ضرایب به دست آمده معادله جدید با نرم افزار spss برای مرز صاف ۸۹
شکل۵-۲۳ مقایسه بین مقادیر مشاهداتی ضریب دارسی- ویسباخ و محاسبه شده با معادله جدید برای مرز صاف ۸۹
شکل۵-۲۴ ضرایب معادله جدید حاصل از رگرسیون غیرخطی با spss برای مصالح شکسته ۹۱
شکل۵-۲۵ ضرایب همبستگی معادله جدید حاصل از رگرسیون غیرخطی با spss برای مصالح شکسته ۹۱
شکل۵-۲۶ مقایسه مقادیر مشاهداتی ومحاسباتی ضریب دارسی- ویسباخ با معادله جدید برای مرز زبر مصالح شکسته ۹۲

شکل۵-۲۷ ضرایب معادله جدید حاصل از رگرسیون غیرخطی با spss برای مصالح گردگوشه ۹۲
شکل۵-۲۸ ضرایب همبستگی معادله جدید حاصل از رگرسیون غیرخطی با spss برای مصالح گردگوشه ۹۲
شکل۵-۲۹ مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی ضریب دارسی- ویسباخ و با معادله جدید برای مرز زبر با مصالح گردگوشه ۹۳
شکل۵-۳۰ تغییرات f در مقابل Fr برای دانه بندی نوع I از مصالح شکسته ۹۳
شکل۵-۳۱ تغییرات f در مقابل Fr برای دانه بندی نوع II از مصالح شکسته ۹۳
شکل۵-۳۲ تغییرات f در مقابل Fr برای دانه بندی نوع III از مصالح شکسته ۹۴
شکل۵-۳۳ تغییرات f در مقابل Fr برای دانه بندی نوع I از مصالح گردگوشه ۹۴
شکل۵-۳۴ تغییرات f در مقابل Fr برای دانه بندی نوع II از مصالح گردگوشه ۹۴
شکل۵-۳۵ تغییرات f در مقابل Fr برای دانه بندی نوع III از مصالح گردگوشه ۹۵
شکل۵-۳۶ ضریب دارسی- ویسباخ در مقابل عمق نسبی برای مصالح شکسته ۹۵
شکل۵-۳۷ ضریب دارسی- ویسباخ در مقابل عمق نسبی برای مصالح گردگوشه ۹۶
شکل۵-۳۸ ضریب دارسی- ویسباخ در مقابل ضخامت رسوبات برای دبی ثابت و مصالح شکسته ۹۶
شکل۵-۳۹ ضریب دارسی- ویسباخ در مقابل ضخامت رسوبات برای دبی ثابت و مصالح گردگوشه ۹۷

فهرست علائم

توضیح	پارامتر
عرض کانال	b
شیب بستر	S_b
عمق جریان	y
تراز مبنا	z
فاصله بین دو مقطع	L
وزن مخصوص سیال	γ
تنش برشی مرزی	τ_0
شعاع هیدرولیکی	R
محیط مرطوب	P
لایه مرزی آشفته	δ
زیر لایه ویسکوز	δ'
سرعت جریان	u
سرعت برشی	u_*
ویسکوزیته سینماتیکی	ν
ثابت فن کارمن	k
سرعت جریان	V
عدد رینولدز	Re
عمق هیدرولیکی	D
شتاب جاذبه	g
عدد فرود	Fr
افت اصطکاکی	h_l
ضریب دارسی- ویسباخ	f
ضریب شزی	C
دبی جریان	Q
سطح مقطع جریان	A
ضریب مانینگ	n
اندازه الک فرضی که ۵۰ درصد مصالح از آن ریزترند.	d_{50}
اندازه الک فرضی که ۸۴ درصد مصالح از آن ریزترند.	d_{84}
ثابت بی بعد مصالح	c
پارامتر مشخصه اندازه خلل و فرج	d
تخلخل مصالح بستر	ε

ادامه فهرست علائم

توضیح	پارامتر
ضریب انحناء در منحنی دانه بندی	C_c
ضریب یکنواختی	C_u
ضریب اصطکاک لوله	f_m
ضریب تصحیح	X
ضریب ثابت	λ
ضخامت رسوبات	h_s
عمق نرمال جریان	Y_0
اثر شکل هندسی	η
گروه بی بعد	π_i