بسم الله الرحمن الرحيم

١٠١٨٥٩٣

۸۷/۱/۱۰ ۳۱۸۸
۸۷/۱/۲۵

دانشگاه شیراز

دانشکده مهندسی

پایان نامه دکتری در رشته مهندسی عمران (گرایش سازه های هیدرولیکی)

بررسی آزمایشگاهی و محاسباتی جریان آشفته ماندگار درون محیطهای سنگریزه ای با سطح آزاد

۱۳۸۷ /۱۰/ ۲۱

توسط:

سید حسین افضلی

اطلاعات مدارک علمی
تهیه کنید

اساتید راهنما:

دکتر پرویز منجمی

دکتر محمد جواد عابدینی

مهر ماه ۱۳۸۷

۱۰۸۵۹۳

به نام خدا

بررسی آزمایشگاهی و محاسباتی جریان آشفته ماندگار درون محیطهای سنگریزه ای با سطح آزاد

به وسیله ی:

سید حسین افضلی

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه دکتری

در رشته ی:

مهندسی عمران- سازه های هیدرولیکی

از دانشگاه شیراز

۱۳۸۷/۱۰/۲۱

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه:..عالی.....

دکتر پرویز منجمی، استاد یار بخش راه و ساختمان، دانشگاه شیراز (رئیس کمیته).....

دکتر محمد جواد عابدینی، دانشیار بخش راه و ساختمان، دانشگاه شیراز (رئیس کمیته).....

دکتر ناصر طالب بیدختی، استاد بخش راه و ساختمان، دانشگاه شیراز.....

دکتر نادر هاتف، استاد بخش راه و ساختمان، دانشگاه شیراز.....

دکتر سید محمود حسینی، دانشیار بخش راه و ساختمان، دانشگاه فردوسی مشهد.....

مهر ماه ۸۷

تقدیم به:

خانواده فداکارم

سپاسگزاری

اینک که به لطف الهی به مرحله تدوین پایان نامه دکترای خود رسیدم با تأملی بر گذشته و مروری بر وقایعی که تاکنون در راستای گذراندن تحصیلاتم در مقطع دکتری اتفاق افتاده، لازم می دانم از بلندای همت و صعه صدر کلیه اساتید بزرگوارم که در حال حاضر علاوه بر نعمت شاگردی ایشان، افتخار همکاری با آنها را نیز دارم قدردانی نمایم. بدون هیچ تکلفی لسان گویائی که توانائی سپاسگزاری بخش کوچکی ازمحبت این عزیزان را داشته باشد در خود نمی بینم. تنها می خواهم بدانند که با تمامی وجودم از همه عنایات و توجه آنها تشکر می کنم و تا زنده ام قدردان همه محبتهای آنان خواهم بود. از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر پرویز منجمی سپاسگزارم. اندیشه خلاق و وسعت دید او همیشه دریچه جدیدی را پیش رویم باز می کرد. از برادر و استاد گرامیم جناب آقای دکتر عابدینی تشکر میکنم. صفات حسنه بی شمار ایشان موهبتی است که خداوند به پاس فداکاری، دلسوزی و وجدان کاری ایشان به وی عطا نموده است. از او خیلی آموختم و سربلندی وشادکامیش را از خداوند مسئلت دارم. قطعا" او یکی از ستونهای محکم علمی و اخلاقی کشور عزیزمان است. قلب دریا گونه دیگر استاد عزیزم جناب آقای دکتر بیدختی، دریچه محبتی است که همیشه به روی تمامی دانشجویان باز بوده و همیشه در کمال صفا و فروتنی عظمت وجودش را صادقانه در اختیار دانشگاه و دانشجویان قرار داده است. روح بزرگ و شخصیت خالی از غرور و تکلف دکتر هاتف به همراه توان علمی بالای ایشان را می ستایم. از دیگر استاد مشاورم جناب آقای دکتر محمود حسینی که زحمت راهنمائی پایان نامه اینجانب را به عهده داشتند تشکر می کنم. به روح پاک دوست عزیز و همراه شفیق، رئیس فقید دانشگاه مرحوم دکتر محمود مصطفوی درود می فرستم و از خداوند متعال مسئلت دارم جایگاه ایشان را در کنار مقتدایش مولا علی قرار دهد. از محبتهای بیدریغ دکتر غلامحسین زمانی و دکتر مجید ارشاد روسای وقت دانشگاه صمیمانه سپاسگزارم. از دقت نظر و محبتهای بیدریغ جناب آقای مهندس مجتبی کریمی که زحمت تدوین برنامه کامپیوتری مورد استفاده در این پایان نامه را بعهده داشتند صمیمانه سپاسگزارم. از زحمات بی شائبه برادر عزیزم جناب آقای نیاکام مسئول محترم آزمایشگاه هیدرولیک که با کمکها و دقت نظر خود در انجام هرچه دقیق تر و به موقع آزمایشات مختلف مرا یاری نمود، قدردانی می نمایم. از سرکار خانم مریم کریم آقائی که صمیمانه زحمات زیادی را در خصوص تایپ پایان نامه متحمل شد، تشکر می کنم. در پایان از همسر عزیزم که در این مدت مثل همیشه با کمال محبت و صبوری مرا تحمل کرده و با بدوش کشیدن کل بار زندگی فضائی آرام و سرشار از محبت فراهم نمود بسیار سپاسگزارم. از خداوند سبحان که توفیق حضور در جوار کلیه این عزیزان را برایم فراهم نمود سپاسگزارم و امیدوارم توانائی جبران گوشه ای از این محبتها را به من عطا نماید.

با آرزوی توفیق الهی
سید حسین افضلی

چکیده

بررسی آزمایشگاهی و محاسباتی جریان آشفته ماندگار درون محیطهای پاره سنگی با سطح آزاد

به وسیله ی:

سید حسین افضلی

شبیه سازی جریان درون محیطهای متخلخل کاربردهای متعددی در شاخه های مختلف علوم و مهندسی از جمله مهندسی منابع آب، محیط زیست، مهندسی شیمی، مهندسی نفت و هیدرولوژی آبهای زیرزمینی دارد. تاکنون در راستای درک بیشتر رفتار جریان درون محیطهای متخلخل، مطالعات تئوریک و بررسیهای آزمایشگاهی زیادی بر مبنای معادلات دارسی و فورشهایمر و ترکیب آنها با معادله پیوستگی صورت گرفته است. در سالهای اخیر برخی از پژوهشگران با تبدیل محیطهای متخلخل به شبکه های دو و یا سه بعدی به تحلیل برخی از پیچیدگیهای جریان درون محیطهای مزبور پرداخته اند. با توجه به اینکه هر شبکه تشکیل شده از یکسری مجرا و حفره لذا در این نوع شبیه سازی حفره ها مبین فضاهای خالی بین ذرات محیطهای متخلخل و مجراها نشاندهنده کانالهائی هستند که این حفره ها را به یکدیگر متصل می کنند.

در این پایان نامه با استفاده از همین ایده یعنی مبانی حاکم برمدلهای شبکه ای و با استفاده از بررسیهای آزمایشگاهی و محاسباتی به تحلیل جریان آشفته ماندگار درون محیطهای سنگریزه ای درشت دانه با سطح آزاد پرداخته شده است. با توجه به اینکه طبیعت جریان درون این گونه محیطها بگونه ایست که بخشی از آن بصورت تحت فشار بوده و بخشی که در نزدیکی خط جریان قرار دارد در ارتباط مستقیم با اتمسفر می باشد، لذا در راستای تحلیل عددی جریان و تدوین برنامه کامپیوتری آن، جریان مزبور بصورت جریان ترکیبی تحت فشار-سطح آزاد در نظر گرفته شده و با استفاده از مدل شبکه ای مورد بررسی قرار می گیرد و با توجه به این نوع مفهوم سازی از جریان، با اعمال اصلاحاتی که بر روی نرم افزار EPANET انجام گرفته امکان استفاده موثرتری از نرم افزار مذکور را فراهم می سازد. برای ارزیابی صحت فرضیات بکار گرفته شده در تبیین مدل کامپیوتری در این نوع مدل سازی، یک سری مدلهای آزمایشگاهی در محل آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز ساخته شده است. این مدلهای فیزیکی عبارتند از یک شبکه ترکیبی شیشه ای، دو محیط متخلخل واقعی که از توپهای کروی همسان ساخته شده اند (در دو قطر مختلف) و پنج محیط متخلخل طبیعی با استفاده از ذرات قلوه همگن (در پنج اندازه مختلف). در ابتدا بمنظور ارزیابی صحت روش ارائه شده جهت آنالیز شبکه ترکیبی، جریان درون مدل شبکه شیشه ای برای ترازهای مختلف آب بالادست مورد بررسی قرار گرفته و پروفیل سطح جریان و میزان گذر حجمی خروجی برای ترازهای مختلف آب مورد پایش قرار گرفته است. سپس همین شبکه با استفاده از مدل پیشنهادی مورد آنالیز قرار گرفته و پروفیل سطح جریان و میزان گذر حجمی خروجی از آن برای ترازهای مختلف آب بالادست محاسبه گردیده است. لازم بذکر است که از نتایج حاصل از مشاهدات آزمایشگاهی برای واسنجی و ارزیابی مدل استفاده گردیده است. نتایج حاصل از اجرای مدل کامپیوتری همخوانی نسبتا" خوبی را با مشاهدات آزمایشگاهی برای شرائط مختلف آب بالادست نشان می دهد.

از آنجا که مهمترین مسئله در بررسی جریان درون محیطهای متخلخل با ذرات کروی یکسان با استفاده از مدل شبکه ای، تعیین ابعاد شبکه و مشخصه های هندسی لوله ها می باشد لذا در این پژوهش روش خاصی جهت تعیین مشخصه های مزبور متناسب با مشخصه های هندسی محیط متخلخل تبیین و ارائه گردیده و صحت این روش با بررسی آزمایشگاهی و پایش جریان درون دو محیط متخلخل واقعی در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور ابتدا با استفاده از روش پیشنهادی، شبکه معادل یکی از محیطهای متخلخل توپی تعیین وضریب زبری لوله ها برای سه معادله مقاومت مختلف مورد واسنجی قرار گرفته است و از آنجا که مشخصه زبری سطح ذرات کروی در هر دو محیط یکسان می باشد، از ضریب زبری بدست آمده در شبیه سازی محیط اول برای شبکه معادل محیط دوم استفاده گردیده و سپس این شبکه برای شرائط مختلف آب بالادست مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه پروفیل سطح جریان و میزان گذر حجمی اندازه گیری شده در محیط توپی با مقادیر محاسبه شده متناظر با آنها بر مبنای مدل کامپیوتری مقایسه گردیده است. مقایسه این نتایج نشاندهنده همخوانی نسبتا" خوب مقادیر پیش بینی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده در مدل آزمایشگاهی می باشد.

در این پژوهش برای بررسی جربان درون محیط متخلخل طبیعی، ابتدا محیط مزبور با یک محیط متخلخل همگن با ذرات کروی یکسان، معادلسازی شده و سپس این محیط همگن با یک شبکه ترکیبی شبیه سازی می گردد. نمودارهای ارائه شده در این تحقیق تغییرات گذر حجمی را بر حسب ترازهای مختلف آب بالادست و همچنین تغییرات ارتفاع سطح جریان را در طول محیط متخلخل نشان می دهند. همانگونه که در نمودارها مشاهده میشود نتایج حاصل از مشاهدات آزمایشگاهی در مدلهای مختلف فیزیکی ساخته شده در آزمایشگاه در مقایسه با مقادیر محاسباتی، همخوانی مطلوب بین مقادیر پیش بینی شده بر اساس مدل کامپیوتری و نتایج حاصل از مشاهدات آزمایشگاهی را نشان می دهد بگونه ای که مدل کامپیوتری بیش از ۹۹ در صد از تغییرات گذر حجمی خروجی و یا پروفیل سطح جریان را بخوبی پیش بینی می نماید. با توجه به موارد فوق بطور کلی مدل شبکه ای می تواند جریان آشفته سیال درون محیطهای سنگریزه ای با سطح آزاد را بخوبی شبیه سازی نماید.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- اهداف پژوهش	۵
۱-۳- ساختار پایان نامه	۶
فصل دوم: پیشینه تحقیق	۷
۲-۱- مقدمه	۷
۲-۲- بررسی ساختاری مدلهای پیشینیان	۹
۲-۲-۱- مدلهای تجربی	۱۰
۲-۲-۱-۱- تقسیم بندی مدلهای تجربی بر اساس چگونگی تعیین ضرائب ثابت آنها	۱۸
۲-۲-۱-۲- آنالیز مدلهای تجربی	۲۰
۲-۲-۲- مدلهای تحلیلی	۲۲
۲-۳- نوآوریهای ارائه شده در این تحقیق	۲۹
فصل سوم: مبانی تئوریک حاکم بر مدل شبکه ای با جریان ترکیبی تحت فشار– سطح آزاد	۳۱
۳-۱- مقدمه	۳۱
۳-۲- مروری بر پژوهشهای پیشینیان	۳۲
۳-۳- هیدرولیک جریان درون محیطهای متخلخل	۳۵
۳-۴- هیدرولیک جریان درون مدل شبکه ای با جریان ترکیبی	۳۷
۳-۵- آنالیز مدل شبکه ای با جریان تحت فشار- سطح آزاد	۴۰
۳-۵-۱- مولفه های فیزیکی مورد نیاز در مدلسازی شبکه های ترکیبی	۴۰

۳-۵-۱-۱-گره ها و یا اتصالات در شبکه ۴۱
۳-۵-۱-۲- لوله ها ۴۲
۳-۵-۱-۳- مخازن ۴۲
۳-۵-۲- معادلات حاکمه ۴۳
۳-۵-۲-۱- معادله پیوستگی ۴۴
۳-۵-۲-۲- معادله مومنتم ۴۵
۳-۵-۳- پروسه آنالیز شبکه ترکیبی ۴۸
۳-۶- مشخصه های فیزیکی شبکه ترکیبی معادل ۵۱
۳-۶-۱- فرضیات منطقی در تعیین مشخصه های فیزیکی شبکه معادل ۵۳
۳-۶-۲- مورفولوژی حفره ها و مجاری در محیطهای متخلخل با ذرات کروی یکسان ۵۳
۳-۶-۳- محاسبه ضریب پوکی محیط متخلخل با ذرات کروی ۵۵
۳-۶-۴- تعیین شعاع هیدرولیکی با استفاده از روش تیلور ۵۵
۳-۶-۵- تعیین طول و قطر لوله ها در شبکه معادل ۵۶

فصل چهارم: مدلهای آزمایشگاهی ۶۰
۴-۱-مقدمه ۶۰
۴-۲- مدل شبکه شیشه ای ۶۱
۴-۲-۱- هدف ۶۱
۴-۲-۲- مشخصه های فیزیکی شبکه ۶۲
۴-۲-۳- پروسه آزمایش ۶۴
۴-۲-۴- پروسه کالیبراسیون مدل ۶۵
۴-۲-۵- منابع خطا ۶۶
۴-۳- مدل محیط متخلخل با استفاده از توپ (دو مدل مجزا با استفاده از توپهای با قطر مختلف) ۶۸
۴-۳-۱- هدف ۶۸
۴-۳-۲- مشخصه های فیزیکی مدل ۶۹
۴-۳-۳- پروسه آزمایش ۷۲
۴-۳-۴- پروسه کالیبراسیون ۷۳
۴-۳-۵- منابع خطا ۷۴
۴-۴- مدل محیط متخلخل طبیعی ۷۵

۴-۴-۱- هدف ۷۵
۴-۴-۲- مشخصه های فیزیکی مدل ۷۷
۴-۴-۳- پروسه آزمایش ۸۰
۴-۴-۴- پروسه کالیبراسیون ۸۱
۴-۴-۵- منابع خطا ۸۲

فصل پنجم: نقد و بررسی نتایج ۸۴
۵-۱- مقدمه ۸۴
۵-۲- مدل شبکه شیشه ای ۸۶
۵-۲-۱- نتایج حاصل از اندازه گیری گذر حجمی در مدل شبکه شیشه ای ۸۷
۵-۲-۲- بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری گذر حجمی در شبکه شیشه ای ۹۲
۵-۲-۳- نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل سطح جریان در مدل شیشه ای ۹۲
۵-۲-۴- بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل جریان درشبکه شیشه ای ۹۶
۵-۳- مدل محیط متخلخل توپی ۹۶
۵-۳-۱- نتایج حاصل از اندازه گیری گذر حجمی درمدل توپی ۹۷
۵-۳-۲— بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری گذرحجمی در مدل محیطهای متخلخل توپی ۱۰۴
۵-۳-۳- نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل سطح جریان درمدل متخلخل توپی ۱۰۴
۵-۳-۴- بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری شکل پروفیل جریان در مدل محیط متخلخل توپی ۱۱۱
۵-۴- مدل محیط متخلخل طبیعی ۱۱۱
۵-۴-۱- نتایج حاصل از اندازه گیری گذر حجمی درمدل محیط متخلخل سنگریزه ای ۱۱۴
۵-۴-۲- بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری گذر حجمی در محیطهای متخلخل سنگریزه ای طبیعی ۱۱۵
۵-۴-۳- نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل جریان در مدلهای متخلخل سنگریزه ای با سطح آزاد ۱۱۵
۵-۴-۴- بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل جریان در محیط سنگریزه ای با سطح آزاد ۱۱۸

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۹

۶-۱- نتیجه گیری ۱۱۹
۶-۲- پیشنهادات برای تحقیقات آینده ۱۲۱

فهرست منابع ۱۲۳
ضمیمه الف: چگونگی محاسبه f با توجه به رژیم جریان ۱۳۲
ضمیمه ب: ضریب افت موضعی، k، برای اتصالات مختلف مورد استفاده در شبکه ۱۳۳
ضمیمه ج: معادلات مورد استفاده در برنامه EPANET ۱۳۴

فهرست جداول

شماره وعنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: ضرائب ثابت مربوط به برخی از مهمترین مدلهای مورد استفاده در تحلیل جریان درون محیطهای متخلخل ۱۵

جدول ۳-۱: معادله افت جریان درون لوله وقتی سیال درون لوله بصورت کاملاً پر جریان دارد. ۴۶

جدول ۳-۲: ضرائب زبری متناسب با جنس لوله ۴۷

جدول ۴-۱: مشخصات فیزیکی محیطهای متخلخل توپی و شبکه معادل آنها ۷۳

جدول ۵-۱: دبی اندازه گیری شده ومحاسبه شده در مدل شبکه شیشه ای (از مقادیر سبز رنگ برای کالیبراسیون استفاده گردیده است.) ۸۸

جدول ۵-۲: دبی اندازه گیری شده ومحاسبه شده در مدل شبکه شیشه ای (ازاین مقادیر برای واسنجی پارامترهای کالیبره شده استفاده گردیده است. ۸۹

جدول ۵-۳: پروفیل محاسبه شده و اندازه گیری شده در مدل شبکه شیشه ای (ارتفاع بالا دست، ۳۸ سانتی متر می باشد.) ۹۳

جدول ۵-۴: گذر حجمی جریان برای ترازهای مختلف آب در بالادست (مدل توپی ۷/۵ سانتیمتری) ۹۸

جدول ۵-۵: گذر حجمی جریان برای ترازهای مختلف آب در بالادست (مدل توپی ۳/۷ سانتیمتری) ۹۹

جدول ۵-۶: پروفیل مشاهده شده و محاسبه شده سطح جریان برای تراز آب بالادست ۵۱ سانتیمتری در مدل توپی ۷/۵ سانتیمتری ۱۰۵

جدول ۵-۷: پروفیل مشاهده شده و محاسبه شده سطح جریان برای تراز آب بالادست ۲۰/۲سانتیمتری در مدل توپی ۳/۷ سانتیمتری ۱۰۶

جدول ۵-۸: خصوصیات فیزیکی ذرات شنی در نمونه ۲۳ میلیمتری ۱۱۲

جدول ۵-۹: ضریب شکل، ضریب یکنواختی و درجه پوکی نمونه های مختلف شنی ۱۱۳

جدول ۵-۱۰: خصوصیات فیزیکی شبکه ترکیبی معادل برای پنج نمونه

مختلف سنگریزه ای ۱۱۴
جدول ۵-۱۱: پروفیل مشاهده شده و محاسبه شده سطح جریان برای تراز آب بالادست ۱۰/۹۸ سانتیمتری در مدل سنگریزه ای ۳/۵ سانتیمتری ۱۱۶

فهرست شکلها

شماره وعنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: شکلهای مورد استفاده در شبیه سازی حفره ها و مجاری موجود در محیط متخلخل ۲۵

شکل ۲-۲: شبکه های دو بعدی مورد استفاده در شبیه سازی محیط متخلخل ۲۵

شکل ۲-۳: شبکه سه بعدی مورد استفاده در شبیه سازی محیط متخلخل ۲۶

شکل ۳-۱: مدل شبکه ای Thauvin و Mohanity (Haring and Greenkorn, 1999) ۳۳

شکل ۳-۲: مدل شبکه ای Wang و همکاران (Wang et al., 1999) ۳۴

شکل ۳-۳: طبیعت رفتار جریان درون حفره های محیط متخلخل ۳۵

شکل ۳-۴: پروفیل سطح آب درون محیط متخلخل ۳۵

شکل ۳-۵: شبکه ترکیبی تحت فشار- سطح آزاد ۳۷

شکل ۳- ۶: چند نمونه مدل شبکه ای ۳۸

شکل ۳-۷: مولفه های فیزیکی یک نمونه شبکه مدل شده در ابتدای آنالیز ۴۱

شکل ۳-۸: فلو چارت مربوط به آنالیز شبکه ترکیبی ۵۰

شکل ۳-۹: محیط متخلخل با ذرات کروی با حداقل فضای خالی ۵۴

شکل ۳-۱۰: محیط متخلخل با ذرات کروی با حداکثر فضای خالی ۵۴

شکل ۳-۱۱: کوچکترین مقطع تکرار شونده درمحیط متخلخل با ذرات کروی با حدافل فضای خالی ۵۵

شکل ۳-۱۲: شبکه ای ترکیبی با لوله های یکسان (قطر D و طول l)، M لوله در طول و N لوله در ارتفاع ۵۷

شکل ۳-۱۳: نمای سه بعدی و بالای محیط متخلخل با ذرات کروی ۵۹

شکل ۴-۱: شبکه ترکیبی ۶۲

شکل ۴-۲: مدل آزمایشگاهی شبکه ترکیبی شیشه ای ۶۳

شکل ۴-۳: اتصالات در مدل آزمایشگاهی شبکه ترکیبی شیشه ای ۶۴

شکل ۴-۴: مدل محیط متخلخل توپی ۷۰
شکل ۴-۵: نحوه چیدمان توپها در مدل محیط متخلخل توپی ۷۰
شکل ۴-۶: مدل محیط متخلخل توپی ۷۱
شکل ۴-۷: مدل محیط متخلخل توپی ۷۱
شکل ۴-۸: محیط متخلخل توپی با قطر ۷/۵ سانتیمتر ۷۲
شکل ۴-۹: محیط متخلخل توپی با قطر ۳/۷ سانتیمتر ۷۲
شکل ۴-۱۰: نمونه ای از پروفیل سطح آب در محیط متخلخل توپی با قطر ۷/۵ سانتیمتری ۷۲
شکل ۴-۱۱: شمای کلی آزمایش محیط سنگریزه ای طبیعی ۷۷
شکل ۴-۱۲: نمونه ای از آزمایش محیط سنگریزه ای طبیعی ۷۸
شکل ۴-۱۳: نحوه اندازه گیری ارتفاع سطح آب بالا دست و پائین دست در آزمایش محیط سنگریزه ای طبیعی ۷۹
شکل ۵-۱: مدل شبکه شیشه ای ۸۶
شکل ۵-۲: مدل شبکه شیشه ای ۸۶
شکل ۵-۳: شمای آزمایش محیط متخلخل توپی ۹۷
شکل ۵-۴: پروسه آزمایش در مدل محیط متخلخل سنگریزه ای ۱۱۳
شکل ۵-۵: نمونه ای از پروفیل جریان در محیطهای متخلخل سنگریزه ای ۱۱۳

فهرست نمودارها

شماره وعنوان **صفحه**

نمودار۵-۱: نمایش ترسیمی گذر حجمی بر حسب معادلات مقاومت مختلف و برای سطوح مختلف ارتفاع آب بالا دست ۹۰

نمودار ۵-۲: نمایش ترسیمی گذر حجمی محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده با بهره گیری از رابطه هیزن-ویلیام ۹۰

نمودار ۵-۳: نمایش ترسیمی گذر حجمی محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده با بهره گیری از رابطه دارسی-وایزباخ ۹۱

نمودار ۵-۴: نمایش ترسیمی گذر حجمی محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده با بهره گیری از رابطه شزی- منینگ ۹۱

نمودار ۵-۵: نمایش ترسیمی پروفیل سطح آب در مدل شیشه ای (ارتفاع بالا دست۳۸ سانتی متر می باشد.) ۹۴

نمودار ۵-۶: نمایش ترسیمی پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده در مدل شبکه شیشه ای با بهره گیری از رابطه هیزن-ویلیام ۹۴

نمودار ۵-۷: نمایش ترسیمی پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده در مدل شبکه شیشه ای با بهره گیری از رابطه دارسی-وایزباخ ۹۵

نمودار ۵-۸: نمایش ترسیمی پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده در مدل شبکه شیشه ای با بهره گیری از رابطه شزی-منینگ ۹۵

نمودار ۵-۹: نمایش ترسیمی گذر حجمی بر حسب معادلات مقاومت مختلف و برای سطوح مختلف ارتفاع آب بالا دست در مدل توپی ۷/۵ سانتیمتری ۱۰۰

نمودار ۵-۱۰: نمایش ترسیمی گذر حجمی بر حسب معادلات مقاومت مختلف و برای سطوح مختلف ارتفاع آب بالا دست در مدل توپی ۳/۷ سانتیمتری ۱۰۰

نمودار ۵-۱۱: نمایش ترسیمی گذر حجمی محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده در مدل توپی ۷/۵ سانتیمتری با بهره گیری از رابطه هیزن-ویلیام ۱۰۱

نمودار ۵-۱۲: نمایش ترسیمی گذر حجمی محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده در مدل توپی ۷/۵ سانتیمتری با بهره گیری از رابطه

دارسی وایزباخ ۱۰۱
نمودار ۵-۱۳: نمایش ترسیمی گذر حجمی محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده در مدل توپی ۷/۵ سانتیمتری با بهره گیری از رابطه شزی- منینگ ۱۰۲
نمودار ۵-۱۴: نمایش ترسیمی گذر حجمی محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده در مدل توپی ۳/۷ سانتیمتری با بهره گیری از رابطه هیزن-ویلیام ۱۰۲
نمودار ۵-۱۵: نمایش ترسیمی گذر حجمی محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده در مدل توپی ۳/۷ سانتیمتری با بهره گیری از رابطه دارسی-وایزباخ ۱۰۳
نمودار ۵-۱۶: نمایش ترسیمی گذر حجمی محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده در مدل توپی ۳/۷ سانتیمتری با بهره گیری از رابطه شزی- منینگ ۱۰۳
نمودار ۵-۱۷: پروفیل سطح آب در مدل توپی ۷/۵ سانتیمتری برای تراز آب بالادست معادل ۵۲ سانتیمتر ۱۰۷
نمودار ۵-۱۸: پروفیل سطح آب در مدل توپی ۳/۷ سانتیمتری برای تراز آب بالادست معادل۲۰/۲ سانتیمتر ۱۰۷
نمودار ۵-۱۹: پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده متناظرآن برای معادله مقاومت هیزن-ویلیام در مدل توپی ۷/۵ سانتیمتری ۱۰۸
نمودار ۵-۲۰: پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده متناظر آن برای معادله مقاومت دارسی-وایزباخ در مدل توپی ۷/۵ سانتیمتری ۱۰۸
نمودار ۵-۲۱: پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده متناظر آن برای معادله مقاومت شزی-منینگ در مدل توپی ۷/۵ سانتیمتری ۱۰۹
نمودار ۵-۲۲: پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده متناظر آن برای معادله مقاومت هیزن-ویلیام در مدل توپی ۳/۷ سانتیمتری ۱۰۹
نمودار ۵-۲۳: پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده متناظر آن برای معادله مقاومت دارسی-وایزباخ در مدل توپی ۳/۷ سانتیمتری ۱۱۰
نمودار ۵-۲۴: پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده متناظر آن برای معادله مقاومت شزی-منینگ در مدل توپی ۳/۷ سانتیمتری ۱۱۰
نمودار ۵-۲۵: پروفیل سطح آب در مدل سنگریزه ای ۳/۵ سانتیمتری برای تراز آب بالادست معادل ۱۰/۹۸ سانتیمتر ۱۱۶

نمودار ۵-۲۶: پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده متناظرآن
برای معادله مقاومت دارسی-وایسباخ در مدل شنی۳۵ میلیمتری ۱۱۷
نمودار ۵-۲۷: پروفیل محاسبه شده بر حسب مقادیر مشاهده شده متناظرآن
برای معادله مقاومت هیزن-ویلیام در مدل شنی۳۵ میلیمتری ۱۱۷

فهرست نمادها

NL: تعداد حلقه ها در شبکه

NP: تعداد مجاری در شبکه

NJ: تعداد گره ها در شبکه

Q_{ij}: میزان گذر حجمی سیال در لوله ij

D_i: میزان برداشت از گره i و یا ورودی خارجی به آن

N: تعداد کل گره های موجود در شبکه

h_{ig}: افت بلندای هیدرولیکی بین گره i و j

q_k: گذر حجمی در لوله k

A: ضریب مقاومت

B: نمای دبی جریان

C: ضریب زبری در معادله هیزن ویلیام (بدون واحد)

ε: ضریب زبری درمعادله دارسی- وایز باخ (mm)

f: ضریب اصطکاک (این ضریب به مقدار ε، q,d بستگی دارد.)

n: ضریب زبری منینگ

l: طول لوله (m)

q: میزان گذر حجمی (cms)

k: ضریب افت موضعی

g: شتاب جاذبه زمین

H: بلندای هیدرولیکی

h: افت بلندای هیدرولیکی

D: قطر لوله

R: شعاع هیدرولیکی

V_V: حجم فضای خالی درون حجم کنترل (مجموع حجم خلل و فرج داخل محیط)

S_A: سطح جانبی فضای خالی مربوط به V_V

V_T: حجم کل (محیط متخلخل)

e: نسبت پوکی

A_{MS}: سطح مخصوص جرمی (سطح مخصوص واحد جرم مصالح)
Mass-specific surface area

A_{VS}: سطح مخصوص حجم (سطح مخصوص واحد حجم مصالح)
Volume-specific surface area

M_R: جرم ذرات محیط

ρ: دانسیته ذرات محیط

d: قطر ذرات کروی

i: گرادیان هیدرولیکی (-)

V: سرعت جریان $\left(m/s\right)$

v: ویسکوزیته سینماتیک $\left(m^2/s\right)$

c_1, c_1: ضریب ثابت متناسب با توزیع دانه بندی ذرات $\left(m^{-1}\right), \left(m^{-2}\right)$

T: ضریب شکستگی (Tortuosity) (-)

g: شتاب جاذبه زمین $\left(m/s^2\right)$

d: قطر متوسط ذرات (m)

k: نفوذپذیری ذاتی Intrinsic permeability $\left(m^2\right)$

R_P: عدد رینلود حفره ای (-)

R_W: عدد رینولد ward $\left(m^2/s\right)$

f_ω: فاکتور اصطکاک دارسی (-)

f_o: فاکتور اصطکاک دارسی وایز باخ (-)

m': شعاع هیدرولیکی موثر (m)

m: شعاع هیدرولیکی حفره ای (-)

kt: فاکتور اصطکاک در جریان آشفته (-)

d_{60}: اندازه سوراخ الکی که ۶۰ درصد وزنی مصالح از آن عبور نماید. (mm)

d_{15}: اندازه سوراخ الکی که ۱۵ درصد وزنی مصالح از آن عبور نماید. (mm)

d_{10}: اندازه سوراخ الکی که ۱۰ درصد وزنی مصالح از آن عبور نماید. (mm)

w: برابر ۵/۲۴۳

$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$: ضریب یکنواختی (-) می باشند

a=۰/۲۶

k_m=۰/۵۶ برای مصالح گرد گوشه