



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی

رساله برای دریافت درجه دکتری تخصصی (Ph.D)  
رشته عمران گرایش راه و ترابری

تعیین معیار طراحی برای نفوذ آبهای سطحی در روسازی بلوکی بتنی با استفاده از  
مدلهای عددی و آزمایشگاهی

نگارنده

سعید محمد

استاد راهنما

دکتر ابوالفضل حسنی

آذر ۱۳۸۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

اعضای هیأت داوران نسخه نهایی رساله آقای سعید محمد تحت عنوان تعیین معیار طراحی برای نفوذ آبهای سطحی در روسازی بلوکی بتنی با روشهای عددی و آزمایشگاهی را از نظر شکل (فرم) و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای دریافت درجه دکتری تخصصی (Ph.D) پیشنهاد می کنند.

ردیف	اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
۱	استاد راهنما	دکتر ابوالفضل حسنی	دانشیار	
۲	استاد مشاور	دکتر علی کمک پناه	دانشیار	
۳	استاد مشاور	دکتر پرویز قدوسی	استاد یار	
۴	استاد ناظر (داخلی) ونماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر امیر کاووسی	دانشیار	
۵	استاد ناظر (داخلی)	دکتر شفیعی فر	استاد	
۶	استاد ناظر (خارجی)	دکتر علی فاخر	دانشیار	
۷	استاد ناظر (خارجی)	دکتر منصور فخری	استاد یار	

## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه

### تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

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

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

## آیین نامه چاپ رساله‌های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار رساله‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ رساله‌ی 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 رساله دکتری نگارنده در رشته عمران-راه و ترابری است که در سال ۱۳۸۸ در دانشکده فنی

دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر ابوالفضل حسینی، مشاوره آقای دکتر علی کمک پناه و مشاوره آقای دکتر پرویز قدوسی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به

«دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند 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، تأدیه

کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت 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 شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب دانشجوی رشته مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: سعید محمد

تاریخ و امضا: آذر ۸۸



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی

رساله برای دریافت درجه دکتری تخصصی (Ph.D)  
رشته عمران گرایش راه و ترابری

تعیین معیار طراحی برای نفوذ آبهای سطحی در روسازی بلوکی بتنی با استفاده از  
مدلهای عددی و آزمایشگاهی

نگارنده

سعید محمد

استاد راهنما

دکتر ابوالفضل حسنی

استاد مشاور

دکتر علی کمک پناه

دکتر پرویز قدوسی

آذر ۱۳۸۸

تقديم

به ساحت مقدس حضرت ولي عصر عجل الله تعالى فرجه الشريف، ارواحنا لتراب مقدمه الفداء

## تشکر و قدردانی

برخود لازم میدانم که از راهنمایی‌های مجدانه و دلسوزانه آقای دکتر *ابوالفضل حسنی* که به عنوان استاد راهنما در انجام این رساله با اینجانب مساعدت و همفکری نمودند قدر دانی نمایم.

همچنین از کمک‌های بیدریغ آقایان دکتر *علی کمک پناه* و دکتر *پرویز قدوسی* که به عنوان اساتید مشاور در اجرای این تحقیق راهنمای اینجانب بودند تشکر مینمایم.

از توجه آقایان دکتر *محمود صفار زاده* و دکتر *امیر کاووسی* و دکتر *جواد سوداگری* نیز که در دوره تحصیل با ارائه رهنمود به اینجانب، همکاری شایسته و درخور داشته‌اند نیز قدردانی نموده و همچنین از بذل عنایت اساتید محترم، آقایان دکتر *شفیعی فر* و دکتر *علی فاخر* و دکتر *منصور فخری* که در بررسی و کنترل نهائی رساله، با اینجانب همکاری نمودند صمیمانه سپاسگزاری مینمایم.

همچنین از همکاری و همراهی بیدریغ *همسر و فرزندانم* و حمایتها و دعای خیر پدر و مادرم که همواره مشوق اینجانب بودند کمال قدردانی را به عمل می‌آورم.



## چکیده

امروزه استفاده از روسازیهای بلوکی بتنی در جهان توسعه چشمگیری یافته و مورد توجه طراحان و مهندسين قرار گرفته است. این روسازی علاوه بر بار پذیری مطلوب تحت بارهای ترافیکی سبک و سنگین، مزایای روسازیهای انعطاف پذیر و صلب را توافمان دارا می‌باشد. از مهمترین محاسن روسازی بلوکی بتنی نفوذپذیر، ایجاد شرایط مناسب برای نفوذ آبهای سطحی و هدایت آن به لایه‌های پایین‌تر و ذخیره‌سازی آب به منظور جلوگیری از تشکیل رواناب سطحی و وقوع سیلاب در سطح روسازی می‌باشد. این روسازی بدلیل سازگاری با طبیعت و تصفیه آلودگی‌ها با عبور رواناب از لایه ماسه بستر و ماسه درز، مورد توجه طرفداران محیط‌زیست قرار دارد. در این تحقیق سعی بر آن است که معیار طراحی برای نفوذ و ذخیره‌سازی آب سطحی در روسازی مورد بررسی قرار گیرد و پارامترهای تاثیرگذار و نحوه تاثیر آنها مطالعه شود. به همین منظور نسبت به طراحی و ساخت دو وسیله آزمایشگاهی برای تعیین میزان نفوذ و ذخیره‌سازی آبهای سطحی در روسازی بلوکی بتنی اقدام گردید که صحت عملکرد این دستگاهها با روشهای عددی و یا بوسیله مقایسه با سایر مطالعات میدانی صحت‌گذاری گردید. با نتایج حاصله از این تحقیق می‌توان مشخصات روسازی و نوع مصالح را به گونه‌ای انتخاب کرد تا از ایجاد رواناب سطحی جلوگیری گردد ضمن آنکه بارپذیری لازم را نیز داشته باشد.

## کلید واژه

روسازی بلوکی بتنی، رواناب، نفوذ، نگهداشت.

## فهرست مطالب

ب	فهرست مطالب	۱
و	فهرست جداول	۱
ط	فهرست اشکال	۱
۱	فصل اول - مقدمه	۱
<hr/>		
۱-۱	کلیات	۱
۲-۱	ضرورت و اهداف تحقیق	۳
۳-۱	روش تحقیق	۴
۴-۱	فرضیات تحقیق	۵
۵-۱	ساختار فصول	۶
۶-۱	نوآوری تحقیق	۶
۷	فصل دوم- مروری بر اطلاعات و مطالعات موجود	۷
<hr/>		
۱-۲	مقدمه	۷
۲-۲	مبانی استفاده از روسازی بلوکی بتنی نفوذ پذیر	۱۳
۱-۲-۲	مرور آیین نامه ها و دستورالعملها:	۱۴
۲-۲-۲	آشنائی با روسازی بلوکی بتنی نفوذ پذیر	۱۵
۳-۲-۲	رواناب سطحی	۱۶
۴-۲-۲	کنترل آلودگی	۱۹
۵-۲-۲	تاثیر تغییرات آب وهوا	۲۱
۶-۲-۲	منافع روسازی بلوکی بتنی نفوذ پذیر	۲۱
۷-۲-۲	انواع بلوکهای نفوذ پذیر	۲۲
۸-۲-۲	انواع سیستم روسازی بلوکی نفوذ پذیر	۲۲
۸-۲-۲	الف- سیستم کاملا نفوذ پذیر	۲۲
۸-۲-۲	ب- سیستم نیمه نفوذ پذیر	۲۳
۸-۲-۲	ج- سیستم نفوذ ناپذیر	۲۴
۹-۲-۲	آشنایی با سایر روشهای نگهداشت	۲۴
۱۰-۲-۲	بازیافت آب سطحی با استفاده از روسازی بلوکی بتنی نفوذ پذیر	۲۵

۲۶	انتخاب سیستم روسازی CBPP
۲۸	استفاده از ترکیب روسازی بلوکی بتنی ترکیبی
۲۹	طراحی روسازی بلوکی بتنی نفوذ پذیر
۳۲	طراحی هیدرولیکی
۴۱	طراحی برای بار گذاری
۴۸	مشخصات مصالح روسازی CBPP
۴۸	بلوک
۴۹	ماسه درز و ماسه بستر
۵۰	مصالح زیر اساس
۵۰	تطبیق ماسه بستر و مصالح زیر اساس
۵۱	مشخصات فیزیکی مصالح
۵۲	جزئیات طراحی و اجرای لوله‌های زهکش در زیر لایه زیراساس
۵۳	مبانی تئوری نفوذ آب در خاک در تحلیل عددی
۵۴	میزان آب حجمی
۵۵	توابع هدایت هیدرولیکی
۵۶	رابطه جریان
۵۷	معادلات حاکم
۵۹	گرادیانها و سرعتها
۶۰	مقادیر شار
۶۰	توابع مصالح
۶۱	مروری بر منابع در ارتباط با نفوذ، نگهداشت و معیار طراحی
۶۵	بیان چالش‌های موجود
۶۷	فصل سوم - روش تحقیق و ارائه نتایج

۶۷	۱-۳ مقدمه
۶۷	۲-۳ مطالعه عددی و آزمایشگاهی برای تعیین جزئیات معیار طراحی نفوذ
۶۷	۱-۲-۳ مطالعات عددی برای بررسی نفوذ رواناب در روسازی
۷۲	۲-۲-۳ مطالعات آزمایشگاهی برای تعیین معیار طراحی نفوذ
۷۲	۱-۲-۲-۳ طراحی و ساخت دستگاه نفوذسنج
۷۶	۲-۲-۲-۳ روش انجام آزمایشات
۸۱	۳-۲-۲-۳ تعداد آزمایشات مورد نیاز

۸۱	۳-۲-۲-۴- تکرارپذیری نتایج بدست آمده از آزمایشات با دستگاه نفوذسنج
۸۲	۳-۲-۲-۵- نتایج بدست آمده از آزمایشات با دستگاه نفوذسنج
۸۵	۳-۳- بررسی عددی و آزمایشگاهی برای تعیین جزئیات معیار طراحی نگهداشت
۸۵	۳-۳-۱- پارامترهای موثر در میزان نگهداشت
۸۶	۳-۳-۱-۱- دانه بندی
۸۶	۳-۳-۱-۲- میزان نفوذپذیری
۸۷	۳-۳-۱-۳- میزان تخلخل
۸۷	۳-۳-۱-۴- درصد رطوبت
۸۸	۳-۳-۱-۵- وزن مخصوص
۸۸	۳-۳-۱-۶- مشخصات بلوک شامل شکل، ابعاد، چینش، ضخامت و نفوذ پذیری
۸۸	۳-۳-۱-۷- شدت بارش
۸۹	۳-۳-۱-۸- شیب زمین
۸۹	۳-۳-۱-۹- میزان نفوذپذیری بستر زمین
۸۹	۳-۳-۱-۱۰- ضخامت لایه ها
۸۹	۳-۳-۲- تشریح دستگاه اندازه گیری نگهداشت
۱۰۴	۳-۳-۳- طراحی روسازی بلوکی برای آزمایش با دستگاه اندازه گیری نگهداشت
۱۰۵	۳-۳-۴- روش آماده سازی دستگاه اندازه گیری نگهداشت
۱۱۰	۳-۳-۵- نتایج حاصل از آزمایشها با دستگاه اندازه گیری نگهداشت
۱۱۱	۳-۳-۶- تکرار پذیری نتایج حاصل از آزمایشها با دستگاه اندازه گیری نگهداشت
۱۱۳	<b>فصل چهارم - تحلیل و تفسیر نتایج</b>
۱۱۳	۴-۱- مقدمه
۱۱۳	۴-۲- تحلیل نتایج نفوذ
۱۱۳	۴-۲-۱- تحلیل نتایج مطالعه عددی
۱۱۴	۴-۲-۲- تحلیل نتایج مطالعات آزمایشگاهی نفوذ
۱۱۴	۴-۲-۲-۱- ارائه نمودار طراحی برای نفوذ
۱۱۸	۴-۲-۲-۲- ارائه رابطه محاسبه سرعت نفوذ با استفاده از نرم افزار SPSS
۱۱۹	۴-۲-۳- صحه گذاری نتایج آزمایشات نفوذ و قیاس با نتایج مطالعات عددی
۱۲۰	۴-۳-۱- کنترل در شرایط عرض درز ۳ میلیمتر و ارتفاع رواناب ۵ میلیمتر
۱۲۱	۴-۳-۲- کنترل در شرایط عرض درز ۶ میلیمتر و ارتفاع رواناب ۵ میلیمتر
۱۲۱	۴-۳-۳- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی
۱۲۲	۴-۲-۴- نتایج حاصل از بررسی پدیده اثر دیواره

۱۲۷	۴-۲-۵- مقایسه اثر دیواره در نتایج حاصل از رابطه، تحلیل عددی و نتایج آزمایشها.....
۱۲۷	۴-۳- تحلیل نتایج نگهداشت.....
۱۳۱	۴-۴- معیار طراحی برای نفوذ و نگهداشت.....
۱۳۲	۴-۴-۱- معیار طراحی برای نفوذ.....
۱۳۶	۴-۴-۲- معیار طراحی برای نگهداشت.....
۱۳۹	فصل پنجم - نتیجه گیری و پیشنهادات.....

۱۳۹	۵-۱- مقدمه.....
۱۳۹	۵-۲- نتیجه گیری.....
۱۴۱	۵-۳- نوآوری های نظری ، عملی و جنبی تحقیق.....
۱۴۳	۵-۴- پیشنهادات برای مطالعات آتی.....
۱۴۴	فهرست مراجع.....
	پیوستها.....

	پیوست الف: آزمایشات استاندارد برای تعیین مشخصات مصالح مصرفی در آزمایشات دستگاه نفوذسنج و دستگاه اندازه گیری نگهداشت.....
۱ -	الف.....
۱ -	پیوست ب : نتایج آزمایشهای دستگاه نفوذسنج.....
۱ -	ب.....
۱ -	پیوست ج: نتایج آزمایشهای دستگاه اندازه گیری نگهداشت.....
۱ -	ج.....
۱ -	پیوست د: تعیین مقیاس دستگاه آزمایش نگهداشت.....
۱ -	د.....
۱ -	پیوست ه: مثال طراحی.....
۱ -	ه.....

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲- مقایسه انواع روسازی ..... ۱۰
- جدول ۲-۲- کنترل آلودگی آبهای سطحی توسط CBPP ..... ۱۹
- جدول ۳-۲- پتانسیل تسویه آب در برابر آلودگی های گوناگون ..... ۲۰
- جدول ۴-۲- راهنما برای انتخاب سیستم روسازی ..... ۲۷
- جدول ۵-۲- راهنمای دسته بندی انواع خاکها ..... ۲۷
- جدول ۶-۲- عمق مورد نظر بارش برای شروع حرکت رواناب ..... ۳۴
- جدول ۷-۲- مقادیر  $I$  برای شهر های مختلف انگلستان ..... ۳۵
- جدول ۸-۲- مقادیر فاکتور  $Z_1$  بر اساس مدت بازنگی و مقدار  $I$  ..... ۳۶
- جدول ۹-۲- ارائه مقادیر  $Z_2$  برای تغییر دوره بازگشت ..... ۳۷
- جدول ۱۰-۲- تعیین ضخامت زیراساس برای ذخیره سازی آب سطحی براساس  $r$ -value ..... ۳۸
- جدول ۱۱-۲- گروه بندی بار چرخ ..... ۴۲
- جدول ۱۲-۲- اعمال ضریب اطمینان ..... ۴۲
- جدول ۱۳-۲- راهنمای بار گذاری چرخ ..... ۴۲
- جدول ۱۴-۲- تعیین ضخامت ..... ۴۳
- جدول ۱۵-۲- اصلاح ضخامت با توجه به CBR بستر ..... ۴۳
- جدول ۱۶-۲- ضرایب تبدیل جنس مصالح زیراساس ..... ۴۳
- جدول ۱۷-۲- دانه بندی مصالح استاندارد زیراساس ..... ۴۴
- جدول ۱۸-۲- دسته بندی ترافیکی شش گانه ..... ۴۴
- جدول ۱۹-۲- اصلاح ضخامت روسازی برای بسترهای ضعیف ..... ۴۷
- جدول ۲۰-۲- تعیین ضخامت DBM بر اساس تعداد محور استاندارد اصلاح شده ..... ۴۸
- جدول ۲۱-۲- دانه بندی مصالح ماسه بستر در روسازی CBPP ..... ۴۹
- جدول ۲۲-۲- محدوده دانه بندی ماسه درز براساس BS EN 12620 fines category  $f_2$  ..... ۵۰
- جدول ۲۳-۲- دانه بندی مصالح زیر اساس در روسازی CBPP ..... ۵۰
- جدول ۲۴-۲- مشخصات فیزیکی مورد نیاز برای مصالح شکسته دانه بندی شده ..... ۵۲

جدول ۱-۳- آنالیز حساسیت شبکه مش	۶۹
جدول ۲-۳- نتایج کالیبراسیون مخزن تحتانی	۷۷
جدول ۳-۳- جدول برداشت اطلاعات	۷۹
جدول ۴-۳- محدوده دانه‌بندی ماسه درز براساس BS EN 12620 fines category f2	۷۹
جدول ۵-۳- دانه‌بندی‌های مختلف مورد استفاده در آزمایشات به عنوان ماسه درز	۸۰
جدول ۶-۳- تعداد آزمایش‌های مورد نیاز	۸۲
جدول ۷-۳- میزان نگهداشت در طول ۱۰ سانتیمتر از درزها (میلی‌لیتر)	۸۳
جدول ۸-۳- سرعت نفوذ آب در ۱۰ سانتیمتر طول درز (سانتیمتر بر ثانیه)	۸۴
جدول ۹-۳- آنالیز حساسیت مش برای تعیین ابعاد دستگاه تعیین میزان نگهداشت	۹۱
جدول ۱۰-۳- مشخصات دستگاه تراکم لرزه‌ای صفحه‌ای	۱۰۳
جدول ۱۱-۳- محدوده دانه‌بندی ماسه بستر بر اساس BS EN 12620	۱۰۶
جدول ۱۲-۳- محدوده دانه‌بندی لایه اساس	۱۰۷
جدول ۱۳-۳- محدوده دانه‌بندی لایه زیراساس	۱۰۸
جدول ۱۴-۳- میزان نگهداشت‌های بدست آمده از آزمایشات	۱۱۱
جدول ۱۵-۳- میزان نگهداشت‌های بدست آمده از آزمایشات اصلی و تکرار به لیتر	۱۱۱
جدول ۱-۴- نتایج آزمایش دستگاه نفوذسنج برای عرض درز ۳ mm و ارتفاع رواناب ۵ mm برای سه نوع مصالح ماسه درز	۱۲۱
جدول ۲-۴- نتایج آزمایش دستگاه نفوذسنج برای عرض درز ۳mm و ارتفاع رواناب ۵mm برای سه نوع مصالح ماسه درز	۱۲۱
جدول ۳-۴- سرعت نفوذ بدست آمده از آزمایشها در ده سانتیمتر از طول درز برای یک میلیمتر از عرض درز	۱۲۲
جدول ۴-۴- دبی حجمی آب ورودی به درون مصالح ماسه‌ای به ازاء هر ۱۰ سانتیمتر از طول درز	۱۲۳
جدول ۵-۴- کالیبراسیون مدل عددی برای بررسی اثر دیواره	۱۲۴
جدول ۶-۴- درصد تاثیر دیواره بر دبی آب عبوری (سانتیمتر مکعب بر ثانیه) از درز	۱۲۶
جدول ۷-۴- نسبت‌های مورد انتظار و بدست آمده از آزمایشها	۱۲۶
جدول ۸-۴- مقایسه نتایج حالت‌های مختلف تحلیل برای مصالح نوع I	۱۲۷

- جدول ۹-۴- مشخصات مصالح زیراساس ..... ۱۲۸
- جدول ۱۰-۴- مقدار ضریب  $\beta$  ..... ۱۲۸
- جدول ۱۱-۴- رابطه ضریب نفوذپذیری با زاویه بازشدگی شیر فلکه تحتانی ..... ۱۳۰
- جدول ۱۲-۴- ضرایب رابطه منحنی‌های شکل ۹-۴ ..... ۱۳۱



## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- اجزاء مختلف روسازی بلوکی بتنی ..... ۸
- شکل ۲-۲- بلوکهای با سطح پیرامونی صاف ..... ۸
- شکل ۳-۲- بلوکهای بتنی با سطح پیرامونی ناصاف ..... ۹
- شکل ۴-۲- انواع قفل شدگی بلوکها ..... ۱۱
- شکل ۵-۲- انواع الگوی چیدمان بلوکها ..... ۱۲
- شکل ۶-۲- مقطع روسازی بلوکی بتنی نفوذ پذیر ..... ۱۶
- شکل ۷-۲- وضعیت نفوذ در نقاط مختلف شهری و روستایی ..... ۱۷
- شکل ۸-۲- ارتباط شدت بارش با زمان بارش ..... ۱۸
- شکل ۹-۲- نحوه تسویه ذرات معلق در روسازی CBPP ..... ۲۰
- شکل ۱۰-۲- انواع بلوکهای نفوذ پذیر ..... ۲۲
- شکل ۱۱-۲- سیستم نوع اول ( نوع A) - کاملاً نفوذ پذیر ..... ۲۳
- شکل ۱۲-۲- سیستم نوع دوم (نوع B) - نیمه نفوذ پذیر ..... ۲۳
- شکل ۱۳-۲- سیستم نوع سوم ( نوع C) - نفوذ ناپذیر ..... ۲۴
- شکل ۱۴-۲- روسازی نفوذ پذیر با استفاده از شبکه‌های پلاستیکی ..... ۲۵
- شکل ۱۵-۲- بازیافت رواناب های سطحی با استفاده از CBPP ..... ۲۶
- شکل ۱۶-۲- رعایت فاصله مجاز بین سطح آب زیرزمینی و روسازی CBPP ..... ۲۸
- شکل ۱۷-۲- روسازی ترکیبی ..... ۲۹
- شکل ۱۸-۲- فلوچارت طراحی روسازی بلوکی بتنی ..... ۳۲
- شکل ۱۹-۲- نقشه منحنی های هم باران بر اساس مقادیر  $r$  در کشور انگلستان ..... ۳۵
- شکل ۲۰-۲- کنترل ضخامت در شیب ..... ۳۹
- شکل ۲۱-۲- کنترل شیب در روسازی CBPP ..... ۴۰
- شکل ۲۲-۲- طراحی CBPP برای سیستم‌های نفوذپذیر و نیمه‌نفوذپذیر (B&A) با سی‌بی‌آر اشباع بستر بیش از ۵ درصد ..... ۴۵

- شکل ۲-۲۳- طراحی روسازی CBPP برای سیستم نفوذ ناپذیر C با سی‌بی‌آر مرطوب بستر بیش از ۵ درصد..... ۴۶
- شکل ۲-۲۴- کنترل مصالح زیر اساس و ماسه بستر..... ۵۱
- شکل ۲-۲۵- نمونه ای از تعبیه لوله های زهکش در بدنه CBPP در سیستم نفوذ ناپذیر..... ۵۳
- شکل ۲-۲۶- تابع عمومی برای تشریح میزان آب حجمی..... ۵۴
- شکل ۲-۲۷- تابع آب حجمی واقعی برای ماسه ریز و سیلت و رس..... ۵۵
- شکل ۲-۲۸- تابع هدایت هیدرولیکی (نفوذپذیری)..... ۵۶
- شکل ۳-۱- انواع مختلف شکل بلوک برای مدلسازی عددی..... ۶۹
- شکل ۳-۲- مش بندی مدل عددی پس از آنالیز حساسیت..... ۶۹
- شکل ۳-۳- مسیر نفوذ در تحلیل عددی با نرم افزار Seep 3D..... ۷۰
- شکل ۳-۴- تاثیرپذیری دبی نفوذ در مقابل تغییرات عرض درز و ارتفاع رواناب..... ۷۰
- شکل ۳-۵- تاثیرپذیری اندک دبی نفوذی در مقابل تغییرات شیب بستر..... ۷۱
- شکل ۳-۶- عدم تاثیرپذیری دبی نفوذی در مقابل ضخامت ماسه بستر..... ۷۱
- شکل ۳-۷- تاثیرپذیری دبی نفوذی در مقابل تغییرات ارتفاع رواناب..... ۷۲
- شکل ۳-۸- طرح اولیه دستگاه برای آزمایش دستگاه نفوذسنج..... ۷۳
- شکل ۳-۹- طرح نهائی دستگاه نفوذسنج..... ۷۴
- شکل ۳-۱۰- اعمال شرط مرزی تحتانی و مدلسازی ماسه بستر..... ۷۵
- شکل ۳-۱۱- اشباع بلوکها قبل از شروع آزمایش..... ۷۶
- شکل ۳-۱۲- آب بندی کلیه اتصالات در دستگاه و نحوه استقرار بلوکها..... ۷۶
- شکل ۳-۱۳- کالیبراسیون مخازن به روش توزین..... ۷۷
- شکل ۳-۱۴- کنترل دمای محیط آزمایش..... ۷۸
- شکل ۳-۱۵- نمودار محدوده دانه بندی ماسه درز..... ۸۰
- شکل ۳-۱۶- میزان نگهداشت در لایه اول با عرض درزها و مصالح مختلف در طول ده سانتیمتر از درز..... ۸۳
- شکل ۳-۱۷- میزان سرعت نفوذ آب (cm/s) در عرض درز JW و با طول ۱۰ سانتیمتر..... ۸۴
- شکل ۳-۱۸- نمونه های ساخته شده برای تحلیل نشت در محیط برنامه Seep 3D..... ۹۲
- شکل ۳-۱۹- منحنی تغییرات میزان نگهداشت با ابعاد نمونه (متر) برای لایه زیراساس..... ۹۳

- شکل ۳-۲۰- منحنی تغییرات میزان نگهداشت با ابعاد نمونه (متر) برای لایه اساس ..... ۹۳
- شکل ۳-۲۱- دستگاه طراحی شده در نمای سه بعدی ..... ۹۴
- شکل ۳-۲۲- شیشه پلکسی جهت کنترل سطح اشباع ..... ۹۵
- شکل ۳-۲۳- قسمتهای مختلف دستگاه نگهداشت ..... ۹۶
- شکل ۳-۲۴- تراز کردن زیر پایه‌ها و نمائی از کتتور خروجی از زیر بستر ..... ۹۷
- شکل ۳-۲۵- چاهک تنظیم ارتفاع رواناب ..... ۹۷
- شکل ۳-۲۶- سیستم شبیه‌ساز باران ..... ۹۸
- شکل ۳-۲۷- کتتور برای قرائت حجم آب ورودی به دستگاه ..... ۹۸
- شکل ۳-۲۸- شیرهای تنظیمی آب ورودی به سیستم شبیه‌ساز باران ..... ۹۹
- شکل ۳-۲۹- سوراخهای تعبیه شده در کف دستگاه برای مدلسازی نفوذ پذیری بستر ..... ۱۰۰
- شکل ۳-۳۰- شبکه جمع‌آوری آب خروجی از داخل و زیر دستگاه ..... ۱۰۰
- شکل ۳-۳۱- آبیندی اطراف درب دستگاه ..... ۱۰۱
- شکل ۳-۳۲- توری دولایه گسترده شده در کف ..... ۱۰۱
- شکل ۳-۳۳- شعاع تاثیر هر سر دوشی ..... ۱۰۲
- شکل ۳-۳۴- تانکر آب برای تنظیم فشار آب ورودی به دستگاه ..... ۱۰۲
- شکل ۳-۳۵- تراکم لایه‌ها ..... ۱۰۳
- شکل ۳-۳۶- نمودار محدوده دانه‌بندی ماسه بستر ..... ۱۰۷
- شکل ۳-۳۷- نمودار محدوده دانه‌بندی لایه اساس ..... ۱۰۸
- شکل ۳-۳۸- نمودار محدوده دانه‌بندی لایه زیراساس ..... ۱۰۹
- شکل ۳-۳۹- دانه‌بندیهای انتخاب شده برای مصالح زیراساس ..... ۱۰۹
- شکل ۳-۴۰- قرائتهای انجام شده (نمودار اول: بستر نفوذناپذیر (بستر نوع ۳)، نمودار وسط: بستر نیمه نفوذناپذیر (بستر نوع ۲) و نمودار سوم: بستر نفوذپذیر (بستر نوع ۱)) ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۱- منحنی محاسبه ضریب  $\alpha$  ..... ۱۱۵
- شکل ۴-۲- منحنی‌های محاسبه ضریب  $\alpha$  ..... ۱۱۶
- شکل ۴-۴- منحنی‌های محاسبه ضریب JV ..... ۱۱۸

- شکل ۴-۶- تاثیرپذیری دبی نفوذ در مقابل تغییرات عرض درز و ارتفاع رواناب حاصل از محاسبات عددی .... ۱۲۰
- شکل ۴-۷- برنامه Seep 3D و جزئیات مدل ساخته شده ..... ۱۲۵
- شکل ۴-۸- مقطع عرضی مدل ساخته شده ..... ۱۲۵
- شکل ۴-۹- منحنی‌های مربوط به محاسبه ضریب  $\beta$  ..... ۱۳۰