

وزارت راه و ترابری
پژوهشکده حمل و نقل

کاربرد CBR غیر اشباع در
طراحی روسازی

سرشناسه	: جراحی، آرمین.
عنوان و پدیدآور	: کاربرد CBR غیراشباع در طراحی روسازی / مسئول پروژه آرمین جراحی؛ مجری آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک؛ ناظرین مرتضی اسماعیلی، اسماعیل اسماعیل پور.
مشخصات نشر	: تهران: وزارت راه و ترابری، پژوهشکده حمل و نقل، ۱۳۸۶.
مشخصات ظاهری	: ۱۶۷ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۶۲۹۹-۹۵-۵
یادداشت	: فیبا.
موضوع	: روسازی-- طرح و ساختمان.
موضوع	: خاک-- آزمایش.
موضوع	: راهسازی.
شناسه افزوده	: اسماعیلی، مرتضی.
شناسه افزوده	: اسماعیل پور، اسماعیل.
شناسه افزوده	: شرکت مادر تخصصی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک.
شناسه افزوده	: ایران، وزارت راه و ترابری، پژوهشکده حمل و نقل.
رده‌بندی کنگره	: ۲۵/۴ ج ۲ : TI
رده‌بندی دیوبی	: ۶۲۵/۸
شماره کتابخانه ملی	: ۱۰۳۴۱۸۵

ISBN: 978-964-6299-95-5

وزارت راه و ترابری - پژوهشکده حمل و نقل

عنوان	: کاربرد CBR غیراشباع در طراحی روسازی
بخش پژوهشی	: روسازی
مجری	: آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری
مدیر پروژه	: مهندس آرمین جراحی
ناظرین	: دکتر مرتضی اسماعیلی - مهندس اسماعیل اسماعیل پور
ناشر	: پژوهشکده حمل و نقل
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۶۲۹۹-۹۵-۵
نوبت چاپ	: اول
تاریخ انتشار	: بهار ۱۳۸۶
شمارگان	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۲۰۰۰ تومان
لینوگرافی	: باران
چاپ و صحافی	: پژمان
نشانی	: بزرگراه آفریقا- بالاتر از نقاط وحید دستگردی (ظفر)- بن بست نور- پلاک ۱۹- پژوهشکده حمل و نقل - طبقه اول - اداره انتشارات
	تلفکس ۸۸۸۸۹۹۸۱-۶
	web:www.tri.gov.ir
	web:www.fadakhbook.com
	وبسایت فروش
	مرکز پخش و فروش (موسسه خدمات فرهنگی فدک ایستاتیس)

۶۶۴۸۱۰۹۶-۶۶۴۸۲۲۲۱

* کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است *

بسمه تعالی

جایگاه و نقش حمل و نقل در ابعاد مختلف اقتصادی، سیاسی و اجتماعی جوامع امروزی برکسی پوشیده نیست. حمل و نقل یکی از پایه‌های اصلی توسعه پایدار و متوازن در جوامع بشری محسوب شده و در واقع شبکه‌های حمل و نقل با مؤلفه‌های مهمی همچون اقتصاد، امنیت و عدالت اجتماعی ارتباط تنگاتنگ دارند. در فرآیند توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها، همبستگی مستقیم میان گسترش حمل و نقل و دستیابی به نرخ رشد اقتصادی بیشتر وجود دارد. به عبارت دیگر همراه با افزایش تولید ناخالص داخلی، میزان ارزش افزوده بخش حمل و نقل نیز افزایش می‌یابد و به همین دلیل است که توسعه و رشد اقتصادی وابسته به توسعه بخش حمل و نقل است و فعالیتهای حمل و نقل از جمله فعالیتهای اساسی و زیربنایی برای رشد و تحول اقتصاد به حساب می‌آید.

طی سالهای اخیر استفاده از نتایج تحقیقات و مطالعات انجام شده در دنیا به افزایش بهره‌وری و ارتقاء کیفیت در اجرا، بهره‌برداری و نگهداری بهینه از طرحها و پروژه‌های حمل و نقل منجر شده و افق‌های جدیدی را به منظور ارائه راهکارها و راهبردهای نوین در عرصه حمل و نقل گشوده است. به همین دلیل اطلاع‌رسانی در این زمینه بمنظور ایجاد ارتباط بین حوزه‌های مختلف یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. پژوهشکده حمل و نقل در راستای ایفای تعهدات و وظایف خویش در امر اطلاع‌رسانی و بسترسازی علمی در زمینه‌های مرتبط با حمل و نقل می‌کوشد تا با عرضه نتایج مطالعات و تحقیقات انجام شده در این پژوهشکده در ایجاد تعامل و تبادل اطلاعات مابین محققان و متخصصان این رشته نقش مفید و مؤثری ایفا نماید. امید آن است تا در این رهرو بتوانیم خدمتی شایسته و در خور به انجام رسانیم و در مسیر سازندگی و بالندگی ایران اسلامی و سرفرازای کشورمان از طریق رشد علمی فرزندان این آب و خاک حرکت نمائیم.

در مجموعه حاضر سعی شده است ضمن بررسی آئین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی در مورد چگونگی استفاده از CBR خاک بستر روسازی، معیارهای انتخاب CBR غیراشباع در طراحی روسازی راههای کشور ارائه گردد. لذا مطالعه و استفاده از مطالب تدوین شده به

شرکتهای مهندسين مشاور که در طراحی روسازی فعالیت دارند و نیز شرکتهای پیمانکار فعال در زمینه راهسازی توصیه می گردد.

بدون شک نقایص نوشتاری و محتوایی این کتاب از چشم تیزبین اساتید، صاحب نظران و متخصصان پوشیده نخواهد ماند و مطمئناً ما را از راهنمایی ها و ارشادهای خویش بهره مند خواهند نمود. پژوهشکده حمل و نقل به این وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را نسبت به کلیه اعضاء گروه تهیه کننده: آقایان مهندس علیمحمد اسماعیلی، مهندس محمدرضا نظرنژاد، مهندس محسن اسماعیلی طاهری، مهندس مازیار پاسدارپور و مهندس امید خلج/ تهیه کننده و آقایان دکتر مرتضی اسماعیلی و مهندس اسماعیل اسماعیل پور/ ناظرین پروژه و آقای مهندس آرمین جراحی/ مسئول پروژه و آقای دکتر احمد منصوریان/ رئیس بخش روسازی ابراز می دارد. همچنین از کلیه بخشها، سازمانها و مؤسساتی که در مراحل تهیه و نظرخواهی این مجموعه همکاری نمودند، سپاسگزاری می گردد.

محمود عامری

رئیس پژوهشکده حمل و نقل

پیشگفتار

براساس معیارهای متداول طراحی روسازی، امکان استفاده از CBR در درصد رطوبت بهینه در پاره‌ای از موارد وجود دارد. در برخی آئین‌نامه‌ها درباره استفاده از CBR در درصد رطوبت بهینه اشاراتی شده است و می‌توان دریافت که سابقه این ایده در سایر آئین‌نامه‌ها نیز وجود دارد. با این حال در آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه شماره ۲۳۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور) روش معینی تدوین نگردیده است. تعیین ضابطه انتخاب CBR غرقاب و یا در درصد رطوبت بهینه در طراحی روسازی راه‌های مناطق مختلف هدف نهایی مجموعه حاضر می‌باشد. برای ارائه چنین معیاری باید شرایط جوی- اقلیمی منطقه و نوع خاک با توجه به میزان تأثیر آنها بر درجه ریسک فنی سازه، مورد توجه قرار گیرد. بدین منظور درخصوص فرآیند تغییر رفتار خاک در حین اشباع شدن، به ویژه با در نظر داشتن شرایط نهایی رطوبت و دانسیته موجود در مصالح بستر که تعیین کننده میزان ظرفیت باربری روسازی تحت ترافیک می‌باشد و همچنین مکانیک رفتار خاک‌های غیراشباع و روند تئوری ارزیابی CBR در درصد رطوبت بهینه در منابع و مراجع مطالعه‌ای صورت گرفته است.

با استفاده از بانک داده‌های مورد استفاده در این پروژه که حاصل نتایج CBR آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی مصالح بستر ۱۱ استان کشور با پراکندگی جغرافیای نسبتاً مطلوب می‌باشد، انتظار می‌رود که نتایج تحقیق حاضر، قابل تعمیم به مصالح موجود در کشور باشد. بر این اساس با استفاده از منطق فازی، بر روی نتایج CBR در دو حالت غرقاب و در درصد رطوبت بهینه تحلیل آماری انجام و نهایتاً نسبتی بین CBR در درصد رطوبت بهینه به CBR در حالت غرقاب برای خاک بستر روسازی پیشنهاد شده است.

در ادامه با توجه به عمق آب زیرزمینی و وضعیت جوی - اقلیمی، با استفاده از روابط و معیارهای مرسوم در مهندسی هیدرولوژی و همچنین با لحاظ نمودن محدودیت‌های سایر آئین‌نامه‌ها، معیاری جهت دسته‌بندی مناطق طراحی بمنظور مشخص نمودن مناطق مجاز استفاده از CBR در درصد رطوبت بهینه پیشنهاد شده است.

قابل ذکر است، نوع و درجه اهمیت راه، علاوه بر شرایط جوی - اقلیمی و نوع خاک باید در انتخاب CBR غرقاب و یا در درصد رطوبت بهینه در روند طراحی لحاظ گردد. بنابراین در مجموعه حاضر تلاش شده است تا معیاری مناسب برای در نظر گرفتن تمامی پارامترهای ذکر شده برای تعیین CBR غرقاب و یا در درصد رطوبت بهینه در طراحی ارائه گردد. البته باید توجه داشت ارائه معیاری که با استفاده از تئوری‌های احتمالات عمل می‌کند، نیازمند پایگاه داده‌های بسیار بزرگ و دستیابی به تمامی مفروضات معیارهای رایج طراحی است. با این حال سعی بر این بوده است تا معیاری ارائه شود که به سایر پارامترهای طراحی وابستگی داشته و تا حد امکان بیان‌کننده مصالح موجود در کشور باشد. امید است اساتید محترم، پژوهشگران و مهندسان گرامی بهره کافی را از مجموعه حاضر کسب نمایند و از پیشنهادات ارزشمند خود ما را بی‌نصب نگذارند. پیشاپیش از بذل توجه صاحب‌نظران سپاسگزاری می‌گردد.

بر خود لازم می‌دانیم که از راهنمایی‌ها، توصیه‌ها و نکات آموزنده ناظرین محترم پروژه و مسئولین محترم پژوهشکده حمل‌ونقل بویژه آقای مهندس اسماعیل اسماعیل‌پور، آقای دکتر مرتضی اسماعیلی، آقای دکتر احمد منصوریان و آقای مهندس آرمین جراحی کمال تشکر و قدردانی را ابراز داریم.

در تهیه مجموعه حاضر پرسنل این شرکت آقایان مهندس علیمحمد اسماعیلی، مهندس محمدرضا نظرنژاد، مهندس محسن اسماعیلی طاهری، مهندس مازیار پاسدارپور و مهندس امید خلیج، همکاری مستمر و بسیار مفیدی داشته‌اند؛ همچنین پرسنل دفتر پژوهش و تحقیقات علمی در ویرایش نهایی این اثر نقش به سزایی ایفا نمودند؛ از زحمات، پی‌گیری‌ها و دقت نظر این همکاران سپاسگزاریم. نهایتاً از کلیه صاحب‌نظران، همکاران و دوستانی که در راستای تهیه این مجموعه مشوق ما بوده و یا با دیدگاه‌های مفید خود ما را یاری رسانیده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

براساس معیارهای متداول طراحی روسازی، امکان استفاده از CBR در رطوبت بهینه در پاره‌ای از موارد وجود دارد. در برخی آیین‌نامه‌ها درباره استفاده از CBR غیراشباع اشاراتی شده است و می‌توان دریافت که سابقه این ایده در سایر آیین‌نامه‌ها نیز وجود دارد. با این حال در آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه شماره ۲۳۴) روش معینی تدوین نگردیده است. تعیین ضابطه انتخاب CBR اشباع و غیراشباع در طراحی روسازی راه‌های مناطق مختلف هدف نهایی این پروژه می‌باشد.

برای ارائه چنین معیاری باید اقلیم منطقه و نوع خاک با توجه به میزان تأثیر آنها بر درجه ریسک فنی سازه، مورد توجه قرار گیرد. در نتیجه مطالعه‌ای درخصوص فرآیند تغییر رفتار خاک در حین اشباع شدن، به ویژه با در نظر داشتن شرایط نهایی رطوبت و دانسیته موجود در مصالح بستر که تعیین کننده میزان ظرفیت باربری روسازی تحت ترافیک می‌باشد و همچنین مکانیک رفتار خاک‌های غیراشباع و روند تئوری ارزیابی CBR غیراشباع در منابع و مراجع صورت گرفته است.

با استفاده از بانک داده‌های مورد استفاده در این پروژه که حاصل نتایج CBR آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی مصالح بستر ۱۱ استان کشور با پراکندگی جغرافیای نسبتاً مطلوب می‌باشد، انتظار می‌رود که نتایج تحقیق حاضر، قابل تعمیم به مصالح اقلیم کل کشور باشد. بر این اساس با استفاده از منطق فازی، تحلیلی آماری بر روی نتایج CBR در دو حالت اشباع و درصد رطوبت بهینه انجام پذیرفت که نهایتاً نسبتی بین CBR در رطوبت بهینه به اشباع برای بستر روسازی پیشنهاد گردیده است.

در ادامه با توجه به عمق آب زیرزمینی و اقلیم آب‌وهوایی با استفاده از روابط و معیارهای مرسوم در مهندسی هیدرولوژی و همچنین با لحاظ نمودن محدودیت‌های سایر آیین‌نامه‌ها، معیاری جهت دسته‌بندی مناطق طراحی بمنظور مشخص نمودن مناطق مجاز استفاده از CBR در رطوبت بهینه پیشنهاد گردید. لازم به توضیح است که در این پروژه در تمامی موارد منظور از عبارت CBR اشباع، CBR در حالت غرقاب و منظور از عبارت CBR خشک، CBR در درصد رطوبت بهینه می‌باشد.

قابل ذکر است، جهت تعیین CBR اشباع یا غیراشباع طراحی، علاوه بر شرایط اقلیمی و نوع خاک، نوع و درجه اهمیت راه مورد نظر نیز در روند طراحی باید لحاظ گردد. بنابراین در این پروژه تلاش شده است تا معیاری مناسب برای در نظر گرفتن تمامی پارامترهای ذکر شده برای تعیین CBR اشباع یا غیراشباع در طراحی ارائه گردد. البته باید توجه داشت که ارائه معیاری که با استفاده از تنوعی های احتمالات عمل می کند، نیازمند پایگاه داده ای بسیار بزرگ و دستیابی به تمامی مفروضات معیارهای رایج طراحی است. با این حال سعی بر این بوده است تا معیاری ارائه شود که با سایر پارامترهای طراحی وابستگی داشته و تا حد امکان بیان کننده مصالح موجود در کشور باشد.

کاربرد CBR غیر اشباع در طراحی روسازی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مطالعه و بررسی آیین‌نامه‌های معتبر بین‌المللی در مورد سابقه و
چگونگی استفاده از CBR خاک بستر روسازی

۱-۱- کلیات	۱
۲-۱- آیین‌نامه روسازی آشتو	۲
۱-۲-۱- روند طراحی روسازی انعطاف‌پذیر	۲
۲-۲-۱- خاک بستر	۴
۳-۲-۱- دلایل استفاده از M_R	۴
۴-۲-۱- روش تراکم و اصلاح	۶
۵-۲-۱- تأثیرات محیطی	۸
۶-۲-۱- مدول مؤثر بستر راه	۱۰
۳-۱- آیین‌نامه انجمن مهندسين ارتش ايالات متحده	۱۱
۱-۳-۱- تعیین CBR طراحی	۱۲
۴-۱- آیین‌نامه مؤسسه تحقیقات راه انگلستان	۱۳
۱-۴-۱- اصول طراحی بر اساس آیین‌نامه مؤسسه تحقیقات راه انگلستان	۱۴
۲-۴-۱- مراحل طراحی	۱۴
۳-۴-۱- تعیین درصد رطوبت بستر راه	۱۵
۴-۴-۱- تعیین مقاومت بستر راه	۱۷
۵-۱- طرح روسازی به روش انستیتو آسفالت (MS-1)	۱۹
۶-۱- آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه ۲۳۴)	۲۱

فصل دوم: روش انجام آزمایش CBR اشباع و غیر اشباع

۲۳	۱-۲- مقدمه
۲۴	۲-۲- وسایل
۲۶	۳-۲- آماده سازی نمونه
۲۶	۴-۲- روش انجام
۲۷	۵-۲- نفوذ
۲۷	۶-۲- محاسبات

فصل سوم: امکان سنجی استفاده از نتایج آزمایش CBR غیر اشباع

۲۹	۱-۳- مقدمه
۲۹	۲-۳- رفتار خاک های غیر اشباع
۳۲	۳-۳- معیار گسیختگی خاک های غیر اشباع
۳۳	۴-۳- محاسبه فشار مکش
۳۳	۱-۴-۳- محاسبه فشار مکش برای خاک های غیر چسبنده (دانه ای)
۳۴	۲-۴-۳- محاسبه فشار مکش برای خاک های چسبنده
۳۶	۵-۳- تئوری ارزیابی CBR غیر اشباع
۴۰	۶-۳- نتایج آزمایشگاهی CBR غیر اشباع
۴۸	۷-۳- جمع بندی و نتیجه گیری

فصل چهارم: تأثیر نوع خاک بر نتایج مقادیر CBR در حالت اشباع و حالت رطوبت بهینه

۵۱	۱-۴- مقدمه
۵۲	۲-۴- تأثیر رطوبت بهینه تراکم بر CBR
۵۳	۳-۴- آزمایش های انجام شده جهت بررسی تأثیر درصد رطوبت بر CBR

۶۲	 ۴-۴- تحلیل آماری بر روی نتایج
۶۳	 ۴-۴-۱- مجموعه‌های فازی
۶۴	 ۴-۴-۲- توابع عضویت
۶۶	 ۴-۵- روند تحلیل نتایج
۷۱	 ۴-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

فصل پنجم: تأثیر عوامل محیطی بر CBR اشباع و غیر اشباع

۷۳	 ۵-۱- مقدمه
۷۴	 ۵-۲- معیار دسته‌بندی مناطق طراحی
۷۷	 ۵-۳- تخمین نسبت باربری کالیفرنیا
۷۷	 ۵-۴- مشکلات خاص
۷۸	 ۵-۴-۱- فاکتورهای آب و هوا
۸۰	 ۵-۴-۲- مکانیسم مکش
۸۱	 ۵-۵- آب زیرزمینی
۸۲	 ۵-۵-۱- ارتفاع مویینگی
۸۶	 ۵-۵-۲- ارتفاع مویینه در خاک ایده‌آل
۸۸	 ۵-۵-۳- ارتفاع مویینه در خاکها
۹۰	 ۵-۵-۴- سرعت افزایش ارتفاع مویینگی
۹۳	 ۵-۶- تأثیرات آب و هوا
۹۵	 ۵-۶-۱- رطوبت بستر
۹۶	 ۵-۶-۲- طبقه‌بندی اقلیمی

فصل ششم: مقایسه هزینه‌های احداث راه براساس CBR اشباع و غیر اشباع

با توجه به ضخامت مورد نیاز روسازی

۱۰۱	۱-۶- مقدمه
۱۰۲	۲-۶- معیارهای طراحی به روش آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران
۱۰۲	۳-۶- طراحی لایه‌ها
۱۰۴	۴-۶- طراحی با CBR اشباع و غیراشباع

فصل هفتم: تحلیل ریسک فنی و اقتصادی استفاده از CBR غیراشباع برای مناطق خاص

۱۱۳	۱-۷- مقدمه
۱۱۳	۲-۷- درجه ریسک عدد CBR خشک
۱۱۹	۳-۷- درجه ریسک ناشی از احتمال اشباع‌شدگی خاک
۱۲۰	۴-۷- تلفیق دو احتمال

فصل هشتم: تعیین ضابطه انتخاب CBR اشباع و غیراشباع در طراحی روسازی راه‌های مناطق مختلف کشور

۱۲۳	۱-۸- مقدمه
۱۲۴	۲-۸- معیار دسته‌بندی مناطق طراحی
۱۲۵	۱-۲-۸- طبقه‌بندی مناطق مختلف براساس اقلیم
۱۲۷	۲-۲-۸- احتمال اشباع‌شدگی خاک
۱۲۸	۳-۸- روش گام به گام
۱۲۹	۴-۸- معیار انتخاب CBR در رطوبت بهینه
۱۳۳	۵-۸- نتیجه‌گیری
۱۳۶	منابع و مراجع
۱۳۸	ضمیمه: آزمایش‌های انجام شده

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- ۱-۱- نمودار همبستگی پارامترهای مقاومتی مختلف بستر روسازی..... ۵
- ۲-۱- تخمین مدول برجهندگی موثر بستر برای طراحی روسازی انعطاف‌پذیر
با استفاده از معیار خدمت‌دهی..... ۱۱
- ۳-۱- روند تعیین CBR زیراساس..... ۱۳
- ۴-۱- رابطه وزن مخصوص خشک، درصد رطوبت و مقاومت CBR برای یک
نوع خاک ماسه رسی..... ۱۸
- ۵-۱- نمودار تعیین ضریب لایه زیراساس (a_3 بر حسب CBR و ضریب ارتجاعی)
۱-۲- وسایل مورد نیاز برای آزمایش CBR..... ۲۱
- ۱-۳- رابطه بین X_w بیشاپ با میزان درصد اشباع..... ۲۵
- ۲-۳- منحنی فشار مکش بر حسب میزان درصد اشباع برای خاک‌های مختلف.... ۳۰
- ۳-۳- روابط بین مکش با درصد رطوبت برای وزن مخصوص‌های مختلف..... ۳۱
- ۴-۳- نمودار تغییرات شاخص قوام (محور عمودی) با مکش (محور افقی بر حسب
پوند بر فوت مربع) خاک‌های چسبنده در شاخص خمیری مختلف..... ۳۱
- ۵-۳- رابطه بین مکش (محور عمودی بر حسب پوند بر اینچ مربع) و درصد رطوبت
موثر (محور افقی) در مقادیر شاخص خمیری مختلف..... ۳۵
- ۶-۳- a سطح شکست فرضی در آزمایش CBR b منحنی بار نفوذ در متدهای
تراکم مختلف..... ۳۶
- ۷-۳- رابطه شاخص خمیری و درصد رطوبت با زاویه اصطکاک داخلی..... ۳۷
- ۸-۳- رابطه بین ظرفیت باربری و شاخص خمیری در شاخص قوام متفاوت..... ۳۸
- ۹-۳- مقایسه بین CBR تخمینی، درصد رطوبت، دانسیته خشک، با مقادیر
اندازه‌گیری شده برای ماسه ساحلی سولهای..... ۳۹
- ۱۰-۳- منحنی دانه‌بندی خاک‌های بررسی شده..... ۴۰
- ۴۱

- ۴۴ ۱۱-۳- نمودار تعیین میزان درجه اشباع خاکهای مختلف
- ۴۵ ۱۲-۳- نمودار تعیین میزان درجه اشباع خاکهای مختلف
- ۴۶ ۱۳-۳- نمودار تعیین میزان درجه اشباع خاکهای مختلف
- ۴۷ ۱۴-۳- مقایسه بین مقادیر تخمینی (خط چین و مقادیر اندازه گیری شده در خاکهای غیر اشباع)
- ۴۸ ۱۵-۳- رابطه بین CBR و شاخص خمیری در شاخص قوام متفاوت
- ۵۵ ۱-۴- الف نمودار سه بعدی تأثیر درصد رس در رفتار خاک های غیر اشباع
- ۵۵ ۱-۴- ب نمودار دو بعدی تأثیر درصد رس در رفتار خاک های غیر اشباع
- ۵۶ ۲-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب درصد رطوبت بهینه خاک GM
- ۵۶ ۳-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک GM
- ۵۶ ۴-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب درصد رطوبت بهینه خاک GC
- ۵۷ ۵-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک GC
- ۵۷ ۶-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب درصد رطوبت بهینه خاک CL
- ۵۷ ۷-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک CL
- ۵۸ ۸-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب درصد رطوبت بهینه خاک SM
- ۵۸ ۹-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک SM
- ۵۸ ۱۰-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک SC
- ۵۸ ۱۱-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک SC
- ۵۹ ۱۲-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب درصد رطوبت بهینه خاک GW
- ۵۹ ۱۳-۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک GW

- ۴-۱۴- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب درصد رطوبت بهینه خاک GP ۶۰
- ۴-۱۵- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک GP ۶۰
- ۴-۱۶- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب درصد رطوبت بهینه خاک SP ۶۰
- ۴-۱۷- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک SP ۶۱
- ۴-۱۸- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب درصد رطوبت بهینه خاک SW ۶۱
- ۴-۱۹- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک SW ۶۱
- ۴-۲۰- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک ML ۶۲
- ۴-۲۱- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب دانسیته خشک حداکثر خاک ML ۶۲
- ۴-۲۲- ساختار اصلی سیستم فازی ۶۶
- ۴-۲۳- نمودار تابع تعلق فازی برای خاک SM ۶۸
- ۴-۲۴- ضریب وزنی هر نسبت CBR (تابع گوسین) برای خاک SM ۶۹
- ۴-۲۵- نمودار امکان وقوع بر حسب نسبت CBR بهینه به اشباع در خاک SM ۶۹
- ۴-۲۶- نمودار نسبت CBR بهینه به اشباع بر حسب احتمال وقوع برای خاکهای مختلف ۷۰
- ۵-۱- چرخه طبیعی گردش آب در روسازی ۷۹
- ۵-۲- ارتفاع موثر موئینگی ۸۲

۸۳	۳-۵- شکل شماتیک سطح آب مویینه
۸۴	۴-۵- سطح فرضی مویینه در خاک‌ها
۸۵	۵-۵- نمودار شماتیک پایداری ارتفاع مویینه
۸۶	۶-۵- ارتفاع مویینه در خاک‌های مختلف براساس D_{10}
۸۷	۷-۵- تصویر شماتیک نحوه قرارگیری دانه‌ها در دو حالت حداکثر و حداقل قطر حفرات
۸۷	۸-۵- نحوه بالا آمدگی مویینه در خاک‌ها
۸۹	۹-۵- تصویر کلی ارتفاع مویینگی
۹۰	۱۰-۵- روشهای مختلف ارزیابی ارتفاع مویینگی
۹۲	۱۱-۵- نمودار تعیین ارتفاع مویینه در مقاطع زمانی مختلف
	۱۲-۵- مقایسه بین تابع آزمایشگاهی گزارش شده توسط Washburn & Lane با تحلیل‌های ارائه شده با رابطه (۵-۲۳)
۹۳	۱۳-۵- مقایسه بین تابع آزمایشگاهی گزارش شده توسط Washburn & Lane با تحلیل‌های ارائه شده با رابطه (۵-۲۳)
	۱۴-۵- نمودارنسبت رطوبت بستر به رطوبت حد خمیری برحسب مقدار بارش، ارائه شده توسط موسسه تحقیقات راه انگلستان
۹۴	
۱۰۵	۱-۶- نمودار تغییرات SN در مقابل M_R
۱۰۶	۲-۶- نمودار تغییرات SN براساس تغییرات M_R در مقادیر آمدوشد مختلف
۱۱۰	۳-۶- نمودار محاسبه عدد ضخامت روسازی
۱۱۱	۴-۶- نمودار تعیین ضریب قشر بتن آسفالتی برحسب ضریب ارتجاعی
۱۱۱	۵-۶- نمودار تعیین ضریب لایه اساس (a_2) برحسب CBR و ضریب ارتجاعی
۱۱۲	۶-۶- نمودار تعیین ضریب لایه زیراساس (a_3) برحسب CBR و ضریب ارتجاعی
۱۱۴	۱-۷- ضریب وزنی امکان وقوع هر نسبت CBR برای خاک SM

- ۲-۷- نمودار توزیع تجمعی احتمال وقوع نسبت CBR بهینه به اشباع برای خاک
 ۱۱۶GW
- ۳-۷- توزیع تجمعی احتمال وقوع نسبت CBR بهینه به اشباع برای خاک GP...
 ۱۱۶
- ۴-۷- توزیع تجمعی احتمال وقوع نسبت CBR بهینه به اشباع برای خاک GM
 ۱۱۶
- ۵-۷- توزیع تجمعی احتمال وقوع نسبت CBR بهینه به اشباع برای خاک GC
 ۱۱۷
- ۶-۷- توزیع تجمعی احتمال وقوع نسبت CBR بهینه به اشباع برای خاک SW
 ۱۱۷
- ۷-۷- توزیع تجمعی احتمال وقوع نسبت CBR بهینه به اشباع برای خاک SP
 ۱۱۷
- ۸-۷- توزیع تجمعی احتمال وقوع نسبت CBR بهینه به اشباع برای خاک SM
 ۱۱۸
- ۹-۷- توزیع تجمعی احتمال وقوع نسبت CBR بهینه به اشباع برای خاک SC
 ۱۱۸
- ۱۰-۷- توزیع تجمعی احتمال وقوع نسبت CBR بهینه به اشباع برای خاک ML
 ۱۱۸
- ۱۱-۷- توزیع تجمعی احتمال وقوع نسبت CBR بهینه به اشباع برای خاک CL
 ۱۱۹
- ۱-۸- ارتفاع موثر موئینگی برحسب اندازه موثر دانه‌ها (D_{10})
 ۱۲۵
- ۲-۸- منحنی‌های طرح برای انتخاب نوع CBR
 ۱۳۱
- ۳-۸- فلوچارت تعیین نوع CBR
 ۱۳۵

فهرست جداول

صفحه

عنوان

۶	۱-۱- رابطه تنشهای اصلی با M_R
	۱-۲- برآورد حداقل مقاومت های CBR بستر راه های دارای رویه آسفالتی که خاک
۱۷	بستر روسازی آنها تا ۹۵٪ حداکثر وزن مخصوص خشک آنها متراکم شده است
۲۰	۱-۳- رابطه بین نسبت CBR طرح و واقعی و میزان آمدوشد
	۱-۴- همبستگی CBR با ضریب برجهندگی در آیین نامه روسازی آسفالتی راه های
۲۱	ایران
	۳-۱- نوع خاک های آزمایش شده
۴۱	۳-۲- اثر تغییر درصد رطوبت و دانسیته بر CBR برای خاکهای مختلف
۴۲	۳-۳- شیب منحنی های افزایشی CBR با تغییرات دانسیته و درصد رطوبت
۴۳	۴-۱- میانگین نسبت های CBR بهینه به اشباع برای هر خاک
۶۷	۴-۲- نسبت CBR بهینه به اشباع حاکم برای هر خاک
۷۰	۵-۱- مشخصات کلی و فیزیکی خاک های مختلف به همراه CBR تخمینی آنها
۷۶	۵-۲- نمونه هایی از تحقیقات انجام گرفته بر روی ارتفاع موینه خاکهای مختلف
۸۹	۵-۳- دسته بندی ضریب دومارتن در اقلیم های مختلف
۹۷	۵-۴- دسته بندی مقادیر f_o و f_c با توجه به نوع خاک، نوع پوشش گیاهی
۹۸	۶-۱- مقادیر CBR فرضی برای بستر در خاکهای مختلف با استفاده از جدول (۵-۱)
۱۰۱	۶-۲- ضریب لایه بر حسب نوع مصالح
۱۰۳	۶-۳- مقادیر CBR در شرایط بهینه و اشباع
۱۰۴	۶-۴- ضریب قشر لایه بتن آسفالتی
۱۰۵	۶-۵- طرح روسازی برای خاک های مختلف
۱۰۷	۶-۶- طرح روسازی برای خاکهای مختلف براساس آزمایش ها

- ۱۱۵ ۷-۱- درجه ریسک خاک‌های مختلف
- ۱۲۶ ۸-۱- طبقه‌بندی اقلیم برحسب ضریب خشکی دومارتن
- ۱۳۰ ۸-۲- مقادیر درجه ریسک و احتمال رخداد و ضریب تغییرات در خاکهای مختلف
- ۸-۳- شماره منحنی‌های موجود در شکل (۸-۲) برحسب تعداد کل محور ساده
- ۱۳۱ ۵/۴ تنی هم‌ارز
- ۱۳۱ ۸-۴- مقادیر تقریبی نسبت هزینه تعمیرات واحد سطح راه به هزینه اولیه