جمهوری اسلامی ایران

دستورالعمل تثبیت
لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها

نشریه شماره ۲۶۸

سازمان مدیریت وبرنامه ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر تدوین ضوابط ومعیارهای فنی
http://www.mporg.ir

وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری
مرکز تحقیقات و آموزش

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ۸۲/۰۰/۵۷

۱۳۸۲

omoorepeyman.ir

فهرستبرگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی
دستورالعمل تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها/ معاونت امور فنی، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی؛ وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، مرکز تحقیقات و آموزش.- تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و انتشارات، ۱۳۸۲.
۷۷ص. :عکس، نمودار.- (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی؛ نشریه شماره ۲۶۸) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛ ۸۲/۰۰/۵۷)
ISBN 964-425-446-5
مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۱/۱۰۲۳۱۹ مورخ ۱۳۸۲/۶/۱
کتابنامه: ص. ۷۳-۷۷

۱. راهسازی - مشخصات. ۲. روسازی - روکشها. ۳. خاک -- تثبیت. ۴. خاک -- تجزیه و آزمایش. الف. ایران. وزارت راه و ترابری. مرکز تحقیقات و آموزش. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی و انتشارات. ج.عنوان. د. فروست.

۱۳۸۲ ش.۲۶۸ ۳۶۸/۲۴س TA

شابک ۵-۴۴۶-۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-446-5

دستورالعمل تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها

تهیه کننده: معاونت امور فنی. دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. معاونت امور پشتیبانی. مرکز مدارک علمی و انتشارات
چاپ اول : ۳۰۰۰ نسخه، ۱۳۸۲
قیمت: ۶۰۰۰ ریال
لیتوگرافی: قاسملو
چاپ و صحافی: چاپ سعید دانش
همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

omoorepeyman.ir

شماره :
تاریخ :
پیوست :

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
رئیس سازمان

بسمه تعالی

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی ، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**تاریخ :** ۱۰۱/۱۰۲۳۱۹
	شماره : ۱۳۸۲/۶/۱

موضوع : دستورالعمل تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی ، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت ۱۴۸۹۸هـ ، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) به پیوست نشریه شماره ۲۶۸ دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی این سازمان ، با عنوان ***«دستورالعمل تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها»*** از نوع گروه سوم ، ابلاغ می‌گردد تا از تاریخ ۱۳۸۲/۸/۱ به اجرا درآید.

دستگاه‌های اجرایی ، مشاوران ، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روش‌ها ، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتر در اختیار داشته باشند ، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست .

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها ، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی این سازمان ، ارسال دارند .

محمد ستاری‌فر
معاون رییس جمهور و رییس سازمان

تهران میدان بهارستان خیابان صفی علیشاه تلفن: ۳۲۷۱ تلفن داخلی: ۴۷۵۳ تلفن مستقیم: ۳۱۱۴۲۴۴ دورنگار: ۳۹۱۱۰۹۳ پست الکترونیکی officehead@mporg.ir پایگاه الکترونیکی www.mporg.ir

امور پیمان
omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی :

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آنرا برای استفاده جامعه مهندسی کشور در اختیار قرار داده است. این دفتر معتقد است که با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی ، فنی ، ابهام ، ایهام و اشکالات موضوعی نیست .

از این رو ، این دفتر صمیمانه از شما خواننده گرامی تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید:

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام لازم را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر شما همکار ارجمند قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه : تهران، خیابان شیخ‌بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴،
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی
صندوق پستی ۴۵۴۸۱-۱۹۹۱۷ www.mporg.ir/fanni/s.htm

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردهای ملی برای طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی آنها از اهمیت ویژه برخوردار است. نظام جدید فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور، بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی را در مراحل طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی، مورد تأکید جدی قرار داده است.

بر اساس مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مورد نیاز طرح‌های عمرانی می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌های عمرانی، طی سال‌های اخیر سعی شده است، در تهیه و تدوین این‌گونه مدارک علمی، از مراکز تحقیقاتی دستگاه‌های اجرایی ذیربط استفاده شود. در این راستا مقرر شده است، معاونت آموزش، تحقیقات و فن‌آوری وزارت راه و ترابری، در تدوین ضوابط و معیارهای فنی بخش راه و ترابری، ضمن هماهنگی با دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، عهده‌دار این مهم باشد.

هدف از تدوین این نشریه که با همکاری جمعی از متخصصان و صاحب‌نظران باسابقه کشور تهیه شده است، ارائه راهکارهای مناسب برای بهره‌گیری مفید و مؤثر از مصالح و منابع خاکی و مواد تثبیت‌کننده برای استفاده در صنعت راهسازی کشور است. در این نشریه، دستورالعمل‌های تثبیت خاک با آهک، سیمان، قیر و تثبیت‌کننده‌های ترکیبی شامل : آهک–خاکستر بادی، آهک–سیمان و آهک–قیر تشریح شده است. برای تدوین این مجموعه، علاوه بر بهره‌گیری از ضوابط و معیارهای مشروحه در "مشخصات فنی عمومی راه – نشریه شماره ۱۰۱" و "آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران – نشریه شماره ۲۳۴" سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، از آیین‌نامه‌ها و مقررات معتبر بین‌المللی AASHTO ، ASTM و ACI نیز استفاده شده است.

omoorepeyman.ir

در پایان از آقای دکتر محمود عامری، مجری و تدوین‌کننده اصلی این مجموعه و همچنین از کارشناسان مشروح زیر و تمامی دست‌اندرکارانی که در تهیه، بررسی، اظهارنظر و انتشار این نشریه، مشارکت داشته‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

مهندس ناصر آذری
مهندس اسماعیل اسماعیل‌پور
مهندس علی‌محمد اسماعیلی
مهندس بهناز پورسید
مهندس میرمحمود ظفری
دکتر حسین غیاثیان
مهندس طاهر فتح‌اللهی
مهندس احمد منصوریان
مهندس اصغر نادری
مهندس گرشاسب نریمانی
مهندس اسماعیل هوشیارفرد

معاونت امور فنی توفیق روزافزون این عزیزان را در خدمت به جامعه مهندسی کشور، از درگاه ایزد متعال مسئلت دارد.

معاون امور فنی

تابستان ۱۳۸۲

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

فصل اول : کلیات ۱

۱-۱ تعریف تثبیت ۱

۱-۲ اهداف تثبیت ۱

فصل دوم : تثبیت خاک و مصالح دانه‌ای با آهک ۳

۲-۱ خاک مناسب برای تثبیت با آهک ۴

۲-۲ طرح تثبیت خاک با آهک ۵

۲-۳ عملیات اجرایی تثبیت خاک با آهک ۱۳

۲-۴ تثبیت لایه‌های روسازیهای شنی با آهک ۲۷

فصل سوم : تثبیت خاک و مصالح شنی با سیمان پرتلند ۳۱

۳-۱ خاک مناسب جهت تثبیت با سیمان ۳۲

۳-۲ طرح تثبیت خاک با سیمان ۳۳

۳-۳ عملیات اجرایی تثبیت خاک با سیمان ۳۹

فصل چهارم : تثبیت خاک و مصالح شنی با قیر ۴۹

۴-۱ خاک مناسب جهت تثبیت با قیر ۴۹

۴-۲ طرح تثبیت خاک با قیر ۵۰

۴-۳ تثبیت مصالح لایه‌های روسازی ۵۰

۴-۴ عملیات اجرایی تثبیت خاک با قیر ۵۱

۴-۵ تثبیت خاک و مصالح روسازی با کف قیر ۵۵

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

فصل پنجم : تثبیت خاکها با ترکیبی از مواد تثبیت کننده ۵۷

۵-۱ تثبیت خاکها با خاکستر بادی و آهک ۵۷

۵-۲ تثبیت خاک با آهک و سیمان ۵۹

۵-۳ تثبیت خاک با آهک و قیرآبه ۶۱

۵-۴ تثبیت خاکها با سیمان- قیرآبه ۶۲

پیوست شماره یک : آزمایش‌ها و استانداردها..... ۶۳

پیوست شماره دو : تصاویر ماشین آلات تثبیت خاک با آهک ۶۷

مراجع ۷۳

omoorepeyman.ir

فصـــل اول
کلیـــات

۱-۱ تعریف تثبیت

تثبیت خاک به اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و مهندسی آن برای تأمین یک رشته اهـداف از پیش تعیین شده اطلاق می‌شود. تثبیت خاکها به طرق گوناگون نظیـر روش هـای مکـانیکی، شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیک (رویاندن گیاه)، و روش الکتریکی امکان پذیر است.

انتخاب روش تثبیت برای خاکها بستگی به نوع و جنس خـاک و همچنـین هـدف از تثبیـت خاک دارد. تثبیت خاک مانند هر تصمیم دیگر مهندسی بایستی از نظـر فنـی و اقتصـادی موجـه باشد. کاربرد این دستورالعمل محدود به روشهای فیزیکی و شیمیایی است.

۱-۲ اهداف تثبیت

برخی از خاکها به علت مشخصات فنی نامطلوب و یا دارا بودن مقادیر قابل تـوجهی رس یـا لای برای عملیات راه سازی نامرغوب محسوب مـی‌شـوند. اینگونـه خاکهـا بـدلیل حساسـیت و ناپایداری در برابر رطوبت، مقاومـت کـم و تـراکم پـذیری مشـکلات فراوانـی را از نظـر فنـی و اقتصادی در راهسازی ایجاد می‌کننـد. چنانچـه مسـیر یـک راه از منـاطقی کـه دارای خاکهـای نامرغوب باشد عبور کند طرح و اجرای زیر سازی و روسـازی مسـتلزم اسـتفاده از لایـه‌هـایی بـا مصالح متفاوت و ضخیم خواهد بود . این امر باعث مصرف مقادیر قابل توجهی مصـالح، افـزایش هزینه‌های عملیاتی و طولانی شدن زمان اجرای پروژه می‌شود. در این موارد اغلب اقدام به تغییر مسیر راه یا تعویض خاک می‌گردد. هرگاه به عللی امکان تغییر مسیر راه و یا تعویض خاک نباشد

omoorepeyman.ir

و یا اینکه هزینه تعویض خاک مقرون به‌صرفه نباشد باید روش اصلاح و بهبود خاک مورد بررسی قرار گیرد تا چنانچه از نظر اقتصادی و فنی قابل توجیه باشد به انجام آن مبادرت گردد.

اهم اهداف تثبیت خاک تأمین یک یا تعدادی از موارد زیر است:

۱- استفاده موثر از قرضه‌های جانبی

۲- اصلاح خاکهای نرم و کم مقاومت

۳- افزایش دوام خاک

۴- افزایش مقاومت باربری خاک

۵ـ کاهش نفوذپذیری خاک

۶- کاهش تورم و انقباض خاک

۷- کاهش رطوبت خاک

۸- کاهش دامنه خمیری خاک

۹- جلوگیری از فرسایش خاک

۱۰- کاهش ضخامت لایه‌های روسازی

۱۱- ایجاد لایه‌های اساس و زیراساس با قابلیت باربری بیشتر

۱۲- بازسازی روسازی‌های فرسوده با استفاده از مصالح موجود

۱۳- آماده‌سازی محوطه‌ای برای اجرای آسانتر عملیات ساختمانی

۱۴- کاهش گرد و غبار

۱۵- صرفه‌جوئی در مصرف مصالح

۱۶- صرفه‌جوئی در مصرف انرژی

۱۷- تسریع در عملیات اجرائی

omoorepeyman.ir

فصـل دوم
تثبیت خاک و مصالح دانه‌ای با آهک

سالها است که از انواع مواد آهکی با درجات خلوص مختلف بـرای تثبیـت خاکهـا و مصـالح دانه‌ای استفاده می‌شود. آهک انواع مختلف/دارد که متداولترین آنها عبارتند از:

الف: آهک زنده (CaO) Calcit quick lime

ب: آهک شکفته ($Ca(OH)_2$) Hydrated lime

ج: آهک زنده دولومیتی (CaO + MgO) Dolomitic quick lime

د: آهک شکفته دولومیتی ($Mg(OH)_2$ or $Ca(OH)_2$) Dolomitic hydrated lime

آهک زنده ماده‌ای است با رنگ متمایل به سفید که درجه ذوب آن بین ۲۵۸۰ تا ۲۷۵۰ درجه سانتیگراد متغیر است. وزن مخصوص آهک زنـده بـین ۳/۱ تـا ۳/۳ گـرم بـر سـانتیمتر مکعـب می‌باشد. این نوع آهک با آب به شدت واکنش داشته و علاوه بر آنکه تولید حرارت می‌کند تبدیل به آهک شکفته می‌شود. آهک شکفته‌ایکه به این صورت بدست می‌آید به آهـک مـرده موسـوم است که بصورت پودر است.

آهک زنده در مقایسه با آهک شکفته تغییر حجم بیشتری دارد. بطـور متوسـط تغییـر حجـم آهک زنده نسبت به آهک شکفته ۲/۵ تا ۳ برابر بیشتر است. تبدیل آهک زنده به آهـک شـکفته همراه با تغییر در وزن مخصوص آن انجام می‌شود، بطوریکه پس از شکفته شدن وزن مخصوص آن به حدود ۲/۲ تا ۲/۴ گرم بر سانتیمتر مکعب کاهش می‌یابد. آهک شـکفته بـا بیشـتر شـدن مقدار آب تغییر حالت داده و از حالت جامد به خمیری و از خمیـری بـه مـایع (دوغـاب آهـک)

omoorepeyman.ir

تبدیل می‌شود. از آنجائیکه آهک شکفته از امتزاج آب با آهک زنده بدست آمده است خاصیت جذب رطوبت کمتری نسبت به آهک زنده دارد و به همین دلیل کارکردن با آن ساده‌تر بوده و براحتی انبار و نگهداری می‌شود.

بطور کلی آهک زنده ماده تثبیت کننده موثرتری نسبت به آهک شکفته است و اگر بصورت دوغاب به خاک اضافه شود، مقاومت بیشتری را نسبت به موقعیکه بصورت پودر اضافه می‌شود، ایجاد می‌کند.

تثبیت خاک با آهک سبب بهبود کیفیت و مشخصات فنی خاک و تسریع در انجام عملیات راهسازی می‌شود. تجربه نشان داده است که افزودن آهک به خاکهای ریزدانه مرطوب موجب بروز چندین واکنش شیمیائی بین خاک و آهک می‌شود و باعث می‌گردد که مخلوط تولید شده دارای مقاومت باربری بیشتر، قابلیت تراکم و جابجایی بهتر، درصد انقباض و خاصیت خمیری کمتری نسبت به خاک طبیعی اولیه باشد. آهک مصرفی باید با مشخصات M216 مطابقت داشته باشد.

۲-۱ خاک مناسب برای تثبیت با آهک

آهک اصولا برای تثبیت خاکهای ریزدانه که دامنه خمیری آنها بزرگتر از ۱۰ و خاکهای رسی خیلی خمیری (PI > ۳۵) مناسب است. آهک برای تثبیت خاکهائی که حاوی مقدار بیش از دو درصد مواد آلی و همچنین حاوی مقدار بیش از نیم درصد سولفات قابل حل در آب می باشند مناسب نیست. وجود مواد آلی در خاک باعث جلوگیری از افزایش PH خاک می‌شود. آزمایشات انجام شده بر روی خاکهای آلی نشان داده است که اگر به اندازه ۲۰ درصد وزن خشک خاک، گچ به آهک زنده یا آهک شکفته اضافه شود می‌توان خاکهای آلی را نیز با آهک تثبیت کرد، مشروط بر آنکه رطوبت طبیعی اینگونه خاکها خیلی زیاد نباشد.

بطور کلی خاکهائیکه در طبقه بندی یونیفاید در گروههای SW-SC , SM , SC , SM-SC , GM-GC , GP-GC , GW-GC , MH , CL , CH- , SP-SC و یا در طبقه‌بندی اشتو

omoorepeyman.ir

درگروههای A-۷، A-۶ ، A-۵ ، A-۴ وA-۲ قرار دارند قابلیت تثبیت شدن با آهک را دارا هستند.

تجربه نشان داده است خاکهایی که PH آنها کمتر از ۷ است و یا حاوی مقدار بیش از یک درصد مواد آلی کربن‌دار هستند واکنش خوبی با آهک ندارند.

۲-۲ طرح تثبیت خاک با آهک

هدف اصلی از طرح تثبیت خاک با آهک تعیین درصد آهک مناسب برای خاکی با مشخصات معین است که باید در شرایط مشخصی از نظر قرارگیری لایه در زیرسازی و یا روسازی و شرایط محیطی منطقه‌ای که راه از آن می‌گذرد، استفاده شود. متغیر اصلی در طرح تثبیت یک خاک معین درصد آهک است زیرا خصوصیات و ویژگیهای خاک ثابت است. قاعده کلی طرح تثبیت خاک با آهک آنستکه مخلوط حاصل برای استفاده در لایه‌های زیرسازی و روسازی عملکرد مورد نظر را تأمین کند.

درصد مناسب آهک بایستی پس از ارزیابی تاثیر درصدهای مختلف آهک بر مشخصات فنی مورد نظر خاک تثبیت شده با آهک تعیین شود. مشخصات فنی که در نظر گرفته می شوند بستگی به هدف از تثبیت خاک دارد و معمولا عبارتند از: دامنه خمیری، قابلیت تورم و مقاومت مصالح قبل و بعد از عمل آمدن. برای استفاده از خاکهای تثبیت شده با آهک به عنوان یک لایه سازه‌ای و باربر در روسازی‌ها، مهمترین ویژگی و عامل تعیین کننده درصد آهک طرح، مقاومت باربری مخلوط است. به همین دلیل معیارهای مورد نظر از مصالح تثبیت شده با آهک بایستی قبلاً تعیین شده باشند تا بتوان درصد آهک مناسب را با در نظر گرفتن هدف از تثبیت خاک با آهک تعیین نمود.

خاکهای واکنش‌زا با آهک، پس از تثبیت با آهک و عمل آمدن بمدت ۲۸ روز در گرمای ۲۰ درجه سانتیگراد بیش از ۳/۵ کیلوگرم برسانتیمتر مربع افزایش مقاومت فشاری تک محوری از خود نشان می‌دهند. خاکهایی که افزایش مقاومتشان پس از اختلاط با آهک و عمل آمدن کمتر از ۳/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باشد خاکهای بدون واکنش محسوب می‌شوند. صرفنظر از

omoorepeyman.ir

جنس و میزان آهک مصرفی و همچنین نحوه عمل آوردن مخلوط خاک و آهک، اگر واکنش پوزولانی انجام نشود، مقاومت لازم برای استفاده از مخلوط بعنوان یک لایه باربر ایجاد نخواهد شد. درصد آهک برای تثبیت خاکها برحسب درصد وزنی خاک خشک تعیین می‌شود.

طرح تثبیت خاک با آهک در آزمایشگاه با توجه به معیارهای طرح شامل مراحل زیر است:

الف : آماده کردن نمونه‌ها

ب : عمل آوردن نمونه‌ها

ج : انجام آزمایشهای لازم

د : تعیین درصد آهک مناسب

۲-۲-۱ آماده کردن مخلوطهای خاک و آهک براساس دستورالعمل ASTM D3551 به این ترتیب انجام می‌شود که ابتدا مقدار معینی خاک و آهک بصورت خشک با یکدیگر مخلوط شده و سپس مقدار آب لازم به آن اضافه شده و بخوبی مخلوط می‌شوند. مقدار آب لازم برای اضافه کردن به مخلوط خاک و آهک معمولا برابر و یا نزدیک به درصد رطوبت بهینه که با انجام آزمایش تراکم براساس دستورالعمل D1557 یا ASTM D-698 تعیین می‌شود، مشخص می‌گردد. در بعضی موارد ممکن است که از درصد رطوبت طبیعی خاک در محل و یا هر رطوبت دیگری که معرف شرایط آب و هوایی پروژه مورد نظر باشد، استفاده شود.

نحوه تراکم و وزن مخصوص نمونه‌های متراکم شده باید بدقت کنترل شود زیرا مقاومت مخلوط خاک و آهک بشدت تحت تاثیر نحوه تراکم و وزن مخصوص بوده و اندک تغییراتی در وزن مخصوص باعث می‌شود که نتوان با دقت کافی تاثیر سایر عوامل موثر نظیر درصد آهک و زمان عمل آوردن را بر عملکرد مخلوط ارزیابی و بررسی نمود. بنابراین لازم است که نحوه تراکم تمامی نمونه ها یکسان باشد.

۲-۲-۲ دما، رطوبت و مدت زمان عمل آوردن نمونه‌های آزمایشی نیز باید کنترل شود. در مواردیکه مقاومت آنی مخلوط خاک و آهک مورد نظر است عمل آوردن نمونه‌ها لزومی نداشته و پس از تراکم نمونه‌ها می‌توان آزمایشهای لازم را بر روی آنها انجام داد. شرایط عمل آوری در

omoorepeyman.ir

آزمایشگاه باید حتی المقدور شرایط صحرایی ، محیطی و کارگاهی را شبیه‌سازی کند. در مناطقی که مسئله چرخه یخبندان- ذوب اتفاق می‌افتد تاثیر سرما در ابتدای فصل زمستان بر عملکرد مخلوط بسیار زیاد است. به‌همین دلیل در اختیار داشتن اطلاعات جغرافیایی از منطقه جهت عمل آوردن و تخمین مقاومت مخلوط در ابتدای فصل سرما اهمیت ویژه دارد. بطور معمول و در صورتیکه مقاومت آنی مخلوط خاک و آهک مورد نظر نباشد، نمونه‌های خاک تثبیت شده با آهک باید قبل از انجام آزمایشهای لازم بر روی آنها، به مدت ۲۸ روز در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد عمل آورده شوند. شرایط عمل آوردن تسریع شده نیز شامل عمل آوردن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد است. توصیه می شود که برای جلوگیری از کربناته شدن آهک و همچنین جلوگیری از کاهش رطوبت نمونه‌ها، عمل آوردن نمونه‌ها در پوشش‌های پلاستیکی و یا ظروف در بسته انجام شود.

چون عمل آوردن نمونه‌ها در نتایج آزمایشها تاثیر زیادی دارد ا ز این رو نباید مقایسه نتایج آزمایشهائی که در آنها نحوه عمل آوردن نمونه‌ها متفاوت است بطور دلخواه انجام شود.

۲-۲-۳ تعیین درصد آهک مناسب

روشهای زیادی برای طرح مخلوط‌های خاک و آهک وجود دارد که از نظر هدف و منظور از تثبیت خاک می‌توان آنها را به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول شامل روشهایی است که هدف از تثبیت خاک کاهش خواص خمیری، کاهش تورم و یا افزایش مقاومت آنی است. گروه دوم شامل روشهایی است که هدف اصلی از تثبیت خاک افزایش مقاومت و دوام مصالح است.

omoorepeyman.ir

۲-۲-۳-۱ برای تعیین درصد آهک مناسب جهت اصلاح خواص خمیری خاک‌های ریزدانه، ابتدا خاک و آهک و آب با یکدیگر بخوبی مخلوط و سپس بمدت یک ساعت به همان حالت شل رها می‌شود تا واکنش‌های آنی بین خاک و آهک به وقوع بپیوندند. سپس آزمایش دامنه خمیری خاک براساس روش ASTMD 4318 بر روی مخلوط خاک و آهک انجام و منحنی تغییرات دامنه خمیری و حد روانی برحسب درصد آهک رسم می شوند. درصد آهک مناسب برای یک خاک درصد آهکی است که دامنه خمیری یا حد روانی مورد نظر را تامین نماید.

۲-۲-۳-۲ برای ارزیابی و بررسی افزایش CBR خاکها و همچنین تعیین درصد تورم خاکهای اصلاح شده با آهک از آزمایش CBR استفاده می شود. این آزمایش بایستی براساس روش ASTM D3668 انجام شود، که می توان آن را با در نظر گرفتن اهداف تثبیت خاک با آهک بر روی نمونه‌های اشباع شده و یا اشباع نشده انجام داد. این آزمایش با درصدهای مختلف آهک تکرار می‌شود و سپس منحنی تغییرات CBR بر حسب درصد آهک در درصد رطوبت‌های مختلف رسم می‌شود. درصد آهک مناسب مقدار آهکی است که در میزان رطوبت مورد نظر (بهینه یا طبیعی)، CBR خاک را به مقدار مورد نظر افزایش دهد که بعنوان مثال برای زیر اساس آهکی باید حداقل برابر با ۲۵ درصد باشد. چنانچه هدف از تثبیت کاهش قابلیت تورم خاک نیز باشد درصد مناسب آهک باید طوری انتخاب شود که میزان تورم خاک اصلاح شده با آهک به مقدار مورد نظر در مشخصات کاهش داده شود.

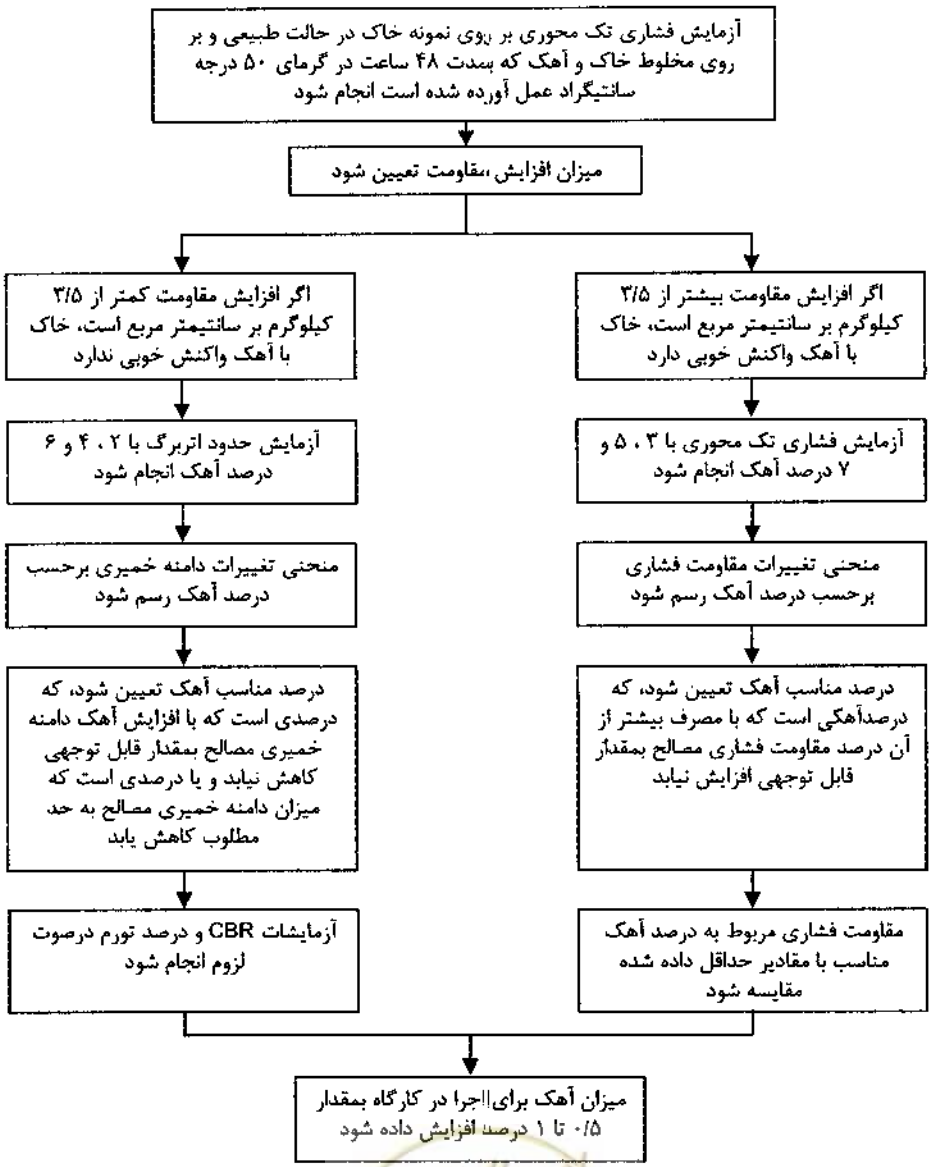
۲-۲-۳-۳ برای تعیین درصد آهک مناسب جهت افزایش مقاومت، از نتایج آزمایش فشاری تک محوری بر روی نمونه‌های خاک تثبیت شده با آهک بر اساس روش ASTM D 5102 استفاده می‌شود. نحوه انجام این آزمایش به این ترتیب است که ابتدا خاک و آهک و آب بخوبی با یکدیگر مخلوط شده و سپس با استفاده از روش تراکم اشتو T-99 نمونه‌های استوانه‌ای شکل ساخته می‌شوند. نمونه‌های بدست آمده به مدت و دمای مورد نظر در این آزمایش عمل آورده شده و سپس تحت آزمایش فشاری تک محوری قرار می‌گیرد. این آزمایش با درصدهای مختلف

omoorepeyman.ir

آهک تکرار شده و سپس منحنی تغییرات مقاومت فشاری برحسب درصد آهک رسم می‌شود. درصد آهک مناسب مقدار آهکی است که مقاومت فشاری مخلوط تثبیت شده را مطابق مشخصات تأمین نماید. حداقل مقاومت فشاری مورد نظر بستگی به عوامل زیادی از قبیل هدف از تثبیت، موقعیت مصالح در لایه‌های زیرسازی و روسازی، شرایط جوی منطقه و ترافیک راه دارد. حداقل مقاومت فشاری برای قشرهای اساس و زیراساس تثبیت شده با آهک به ضخامت آنها بستگی داشته و باید با مشخصات فنی خصوصی پروژه مطابقت داشته باشد.

شکل (۲-۱) مراحل طرح تثبیت خاک با آهک را به‌روش آزمایش فشاری تک محوری نشان می‌دهد.

omoorepeyman.ir



شکل (۲-۱) : مراحل طرح تثبیت با آهک

omoorepeyman.ir

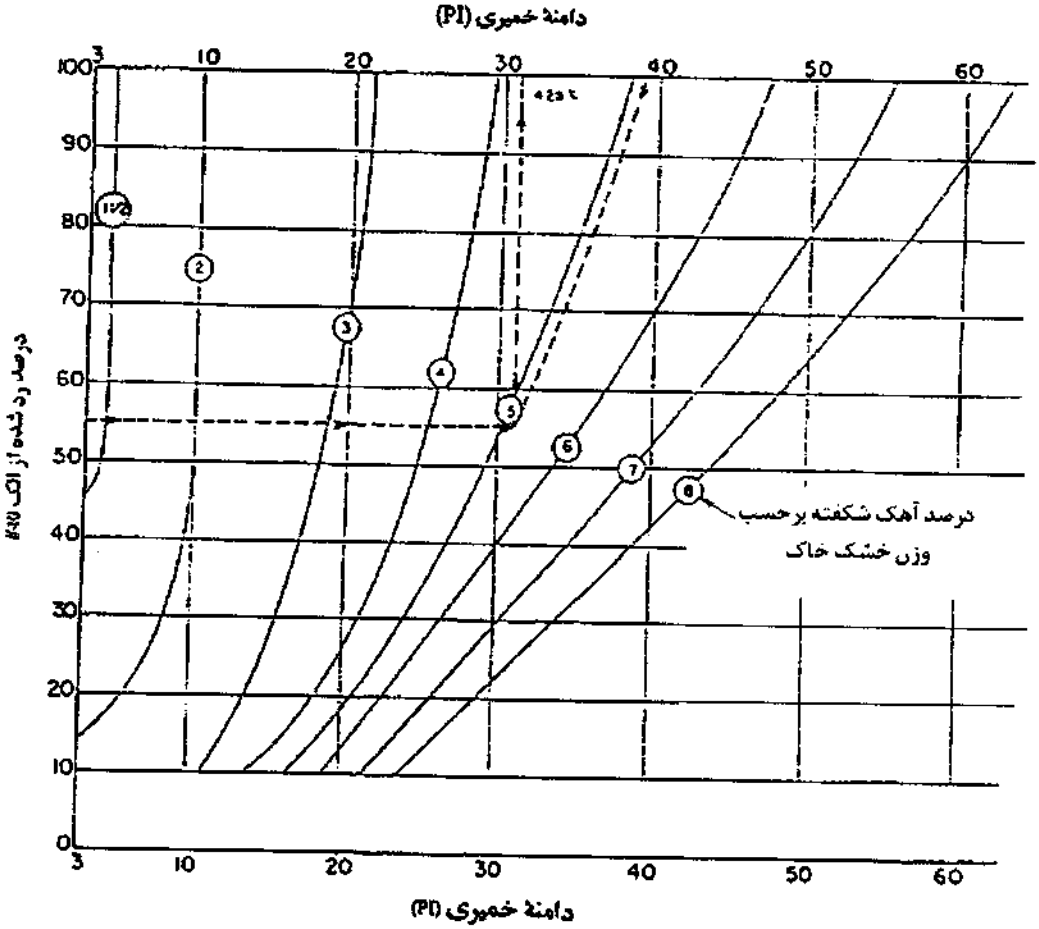
۲-۲-۳-۴ برای تعیین درصد آهک تقریبی جهت تثبیت خاک از روش PH و یا آشتو نیز استفاده میشود. روش PH برای تعیین درصد آهک مناسب برای تثبیت خاکها با آهک یک روش نسبتا سریع است و براین اصل استوار است که آنقدر به خاک مورد نظر باید آهک اضافه شود تا آنکه بعد از یک ساعت رها کردن مخلوط، PH آن به حداقل ۱۲/۴ که مقدار لازم برای واکنشهای پوزولانی است، برسد. اگرچه روش PH برای تعیین درصد آهک مناسب به منظور تثبیت خاک با آهک یک روش سریع است، لیکن این روش کاملا مشخص نمی‌کند که خاک دارای واکنش خوبی با آهک است یا خیر و مقاومت مصالح تثبیت شده چه مقدار خواهد بود. لازم به ذکر است که PH برابر با ۱۲/۴ لزوماً شاخص مطمئنی برای بدست آوردن نشانه‌ای از واکنش‌دار بودن و یا واکنش دار نبودن خاک و آهک نیست. بنابراین برحسب مورد و هدف از تثبیت خاک با آهک می‌توان از روش دامنه خمیری و یا آزمایش مقاومت فشاری برای بررسی و ارزیابی اثر درصد آهک تعیین شده به روش PH بر خواص خمیری و یا مقاومت باربری خاک مورد نظر استفاده نمود.

در روش آشتو درصد آهک مناسب با استفاده از نموگرام ارائه شده در شکل (۲-۲) تعیین می‌شود. برای استفاده از این شکل لازم است که ابتدا آزمایشهای دانه‌بندی و حدود اتربرگ بر روی خاک مورد نظر انجام شود. سپس با در دست داشتن درصد رد شده از الک نمره ۴۰ و همچنین دامنه خمیری خاک نقاط مربوط بر روی محور مختصات شکل (۲-۲) مشخص می‌شوند. از محل تلاقی خط افقی که از روی محور قائم مربوط به درصد مواد رد شده از الک نمره ۴۰ ترسیم می‌شود با خطی که از نقطه مربوط به دامنه خمیری خاک و به موازات و درامتداد نزدیکترین منحنی به این نقطه ترسیم می‌شود یک خط قائم استخراج و ترسیم می‌شود. از محل تلاقی خط اخیر الذکر با محور افقی مربوط به دامنه خمیری خاک یک منحنی به موازات و امتداد نزدیکترین منحنی به این نقطه ترسیم می‌شود. درصد آهک مناسب برحسب وزن خاک خشک با توجه به محل قرارگیری منحنی اخیرالذکر در بین منحنی‌های نشان داده شده در شکل (۲-۲)

omoorepeyman.ir

با درون یابی تعیین می‌شود. اگرچه روش اشتو برای تعیین درصد آهک مناسب برای تثبیت خاک یک روش سریع و ساده است، لیکن این روش هیچگونه نشانه‌ای از مقاومت خاک تثبیت شده با آهک را مشخص نمی‌کند. بنابراین با توجه به هدف از تثبیت خاک با آهک می‌توان از یکی از آزمایشهائیکه به منظور تعیین مقاومت خاک تثبیت شده با آهک انجام می‌شود (نظیر آزمایش CBR یا آزمایش مقاومت فشاری) و یا از روش دامنه خمیری که به منظور ارزیابی اثر آهک بر خواص خمیری (حدود اتربرگ) خاکها انجام می‌شود برای بررسی اثر درصد آهک تعیین شده به روش اشتو بر مقاومت یا خواص خمیری خاک استفاده نمود.

omoorepeyman.ir



شکل(۲-۲): درصد توصیه شده آهک برای تثبیت خاک بستر،زیراساس و اساس

۲-۳ عملیات اجرایی تثبیت خاک با آهک

مراحل اجرایی عملیات تثبیت خاک با آهک شامل آماده کردن خاک، پخش آهک، اختلاط و آب‌پاشی، کوبیدن و تسطیح و عمل آوردن مخلوط می‌شود. این مراحل باید برای هر نوع خاکی و با هر شرایطی از نظر قرارگیری لایه در زیرسازی و یا روسازی انجام شود.

omoorepeyman.ir

۲-۳-۱ آماده کردن خاک

رقوم سطح خاک بستر راه باید قبل از شروع عملیات تثبیت مطابق رقوم مندرج در نقشه‌های اجرایی باشد. شخم زدن خاک و خارج کردن آن از حالت کلوخه نیز باید به ضخامت و عرض مندرج در نقشه‌ها انجام شود. علاوه بر آن در هنگام شخم زنی و پس از آن و همچنین در حین خرد و نرم کردن خاک باید کلیه مصالح نامناسب نظیر ریشه و کنده درختان، مواد کودی و گیاهی، دانه‌های بزرگتر از ۶۳ میلیمتر و سایر مواد زاید جمع‌آوری و خارج شوند بطوریکه خاک آماده شده عاری از هرگونه مواد زاید خارجی باشد. برای آنکه کیفیت خاک تثبیت شده با آهک خوب باشد و همچنین اختلاط خاک و آهک کارایی و یکنواختی لازم را داشته باشد عمل خرد و نرم کردن خاک باید بخوبی و در یک یا چند مرحله انجام شود. برای آنکه عمل خرد و نرم کردن خاکهای ریزدانه بطور موثری انجام شود، بهتر است عملیات خرد و نرم کردن اینگونه خاکها در رطوبتی برابر با رطوبت بهینه آنها انجام شود. مرطوب کردن خاکهای خشک قبل از عملیات شخم‌زنی نیز باعث تسهیل در این عملیات می‌شود. در مورد خاکهائیکه پس از اختلاط با آهک افزایش حجم داده و پف می‌کنند، می‌توان رقوم اولیه سطح خاک بستر راه را از ابتدا قدری پایین‌تر از رقوم نهایی مندرج در نقشه‌ها اختیار کرد و یا اینکه بعدا ضخامت اضافی را تراشید بطوریکه رقوم سطح تراشیده شده منطبق با رقوم مندرج در نقشه‌های اجرایی شود. بطورکلی لازم است که حدود ۰/۵ سانتیمتر از سطح لایه تثبیت شده خاک با آهک با استفاده از تیغه گریدر تراشیده شود زیرا کیفیت این مصالح که در معرض هوا قرار دارد بدلیل کربناته شدن مرغوب نیست.

۲-۳-۲ پخش آهک

پخش آهک بر روی خاک آماده شده به طرق مختلف که عبارتند از : پخش دستی، پخش با وسایل مکانیکی بصورت خشک یا دوغاب و یا تزریق با فشار امکان‌پذیر است.

۲-۳-۲-۱ پخش آهک به صورت خشک

در پخش آهک زنده یا شکفته خشک بصورت دستی ابتدا لازم است که کیسه‌های آهک به گونه‌ای منظم و یکنواخت در طول و عرض آن قسمت از راه که تثبیت خاک آن مورد نظر است

omoorepeyman.ir

قرار داده شوند سپس با تخلیه آهک از کیسه‌ها باید آهک کپه شده را با استفاده از شن کش دستی در سطح راه به طور یکنواخت پخش کرد برای جلوگیری از گرد و غبار بهتر است که بلافاصله پس از پخش آهک با آب‌پاشی آنرا مرطوب کرد. استفاده از روش دستی برای پخش آهک وقت‌گیر است و برای پروژه‌های بزرگ مناسب و مقرون به صرفه نیست. پخش آهک زنده یا شکفته خشک فله با استفاده از کامیون کمپرسی و یا ماشینهای مخصوص پخش آهک نیز امکان‌پذیر است. استفاده از کامیون کمپرسی معمولا ساده‌ترین روش برای پخش آهک فله است. در این روش میزان آهک لازم برای پخش بر روی سطح راه با تنظیم دریچه عقب اطاقک کامیون و همچنین تنظیم سرعت حرکت ماشین کنترل می شود. برخی از کامیونهای پخش آهک مجهز به جعبه مخصوص پخش آهک هستند که به عقب اطاقک کامیون متصل می‌شود. دوران محور پیچ‌وار درون جعبه در هنگام پخش آهک مانع چسبیدن دانه‌های آهک به یکدیگر و همچنین پخش یکنواختر آهک بر روی سطح راه می‌شود.

نحوه دیگر پخش آهک فله استفاده از ماشینهای مخصوص پخش آهک است که دارای یک مخزن بزرگ استوانه‌ای شکل برای حمل آهک هستند. این ماشین‌ها مجهز به یک سیستم پخش کننده مکانیکی و یا عمل کننده هیدرولیکی با هوای فشرده هستند که در زیر مخزن قرار دارد. در پخش‌کنهای مکانیکی مقدار آهک لازم با تنظیم سرعت حرکت ماشین و همچنین تنظیم سرعت دوران محور پیچ وار پخش‌کن و دریچه خروجی آن کنترل می‌شود. در پخش‌کنهایی که با هوای فشرده کار می‌کنند مقدار آهک لازم با تنظیم سرعت حرکت ماشین و فشار هوای پخش‌کن کنترل و پخش می‌شود. در این روش پخش آهک نیز برای جلوگیری از پراکنده شدن آهک در هوا و آلوده شدن محیط زیست، بهتر آنست که با ماشین آب پاش آهک پخش شده مرطوب شود. در پخش آهک زنده به صورت دستی یا مکانیکی لازم است که برای جلوگیری از سوختگی پوست و یا سایر اجزاء بدن و همچنین صدماتی که کارکردن با آهک زنده به همراه دارد تدابیر ایمنی برای محافظت افرادی که با آهک زنده کار می کنند اتخاذ شود.*

* استفاده از دستکش، عینک، ماسک، کلاه و لباسهایی که اعضاء بدن را در برابر صدمات ناشی از کار کردن با آهک زنده محافظت می کنند برای افرادیکه با آهک زنده کار می کنند الزامی است.

omoorepeyman.ir

۲-۳-۲-۲ پخش آهک به صورت دوغاب

دوغاب آهک معمولا از مخلوط کردن ۱۰۰۰ کیلوگرم آهک شکفته در ۲۲۰۰ لیتر آب بدست می‌آید که به این ترتیب دوغاب حاصل حدود ۳۰ درصد آهک دارد. بکار بردن دوغاب آهک با درصد آهک بیشتر عمل تلمبه‌کردن و پخش آهک را بسیار دشوار و گاهی غیر ممکن می سازد. قبل از پخش آهک باید خاک مورد نظر به ضخامت لازم، شخم زده‌شود و سپس دوغاب آهک در یک یا چند مرحله بر روی آن پخش شود. به منظور جلوگیری از پخش غیر یکنواخت دوغاب آهک که معمولا بعلت راه‌افتادن آن اتفاق می‌افتد باید بلافاصله خاک و دوغاب آهک با یکدیگر مخلوط شوند. در مواردیکه درصد آهک نسبتا کمی مورد نیاز است دوغاب آهک را می‌توان از مخلوط کردن ۳۰۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم آهک شکفته در هر مترمکعب آب تهیه کرد. در مواردیکه درصد رطوبت طبیعی خاک در حدود درصد رطوبت بهینه باشد باید غلظت دوغاب آهک بیشتر باشد. درمواقعی‌که هوا سرد است باید دقت کرد تا دوغاب آهک بیش از حد تعیین شده پخش نشود، زیرا این امر باعث افزایش رطوبت خاک می‌شود و برگشت به رطوبت بهینه در هوای سرد بسیار دشوار است. پخش دوغاب آهک در درجه حرارت کمتر از ۵ درجه سانتیگراد مجاز نیست.

لازم به ذکر است که برای جلوگیری از ته‌نشین شدن آهک در مخازن ماشین‌های حامل دوغاب لازم است که یا با استفاده از هوای فشرده و یا با استفاده از تلمبه‌های مدار بسته عمل همزدن دوغاب در مخازن ماشین‌های حمل دوغاب انجام شود.

۲-۳-۲-۳ تزریق آهک

تزریق دوغاب آهک با فشار معمولا به منظور کاهش قابلیت تورم و پایدار کردن خاک در راهسازی انجام می‌شود. در این روش دوغاب آهک به عمق ۲ تا ۳ متر در خاک تزریق می‌شود معمولا فواصل بین نقاط تزریق دوغاب بین ۱/۵ متر انتخاب می شود و پس از تزریق دوغاب لایه‌ای به ضخامت ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر از سطح بالایی خاک بطور کامل و با استفاده از روشهای معمول تثبیت می‌شود.

omoorepeyman.ir

۲-۳-۳ اختلاط خاک و آهک

به سه روش خاک و آهک با یکدیگر مخلوط میشود. این روشها عبارتند از : روش اختلاط در محل، روش اختلاط در کارخانه و روش تزریق با فشار. روش اخیرالذکر بیشتر برای پایداری پی ساختمانها و پلها کاربرد دارد و برای تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راهها به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۳-۳-۱ اختلاط خاک و آهک در محل

اختلاط خاک با آهک در محل به سه روش به شرح زیر انجام می شود :

۱- آهک با خاکی که جزیی از روسازی بوده و یا در حریم راه واقع است مخلوط شود.

۲- آهک با خاکی که از محل قرضه بدست آمده است مخلوط شده و سپس برای استفاده به محل مصرف حمل شده، پخش، آب‌پاشی، متراکم و تسطیح شود.

۳- آهک با خاکی که از محل قرضه بدست آمده و به محل مصرف حمل شده مخلوط شود.

مراحل اجرایی برای تثبیت خاک در محل به این شرح است:

الف : تمام آهک در یک مرحله به خاکهای رسی و یا مصالح شنی از جنس لایه اساس روسازیها که به سهولت خرد و نرم می شوند اضافه شده و لزومی به گذشت زمان برای جا افتادن مخلوط نیست.

ب : تمام آهک در یک مرحله به خاکهای رسی خمیری اضافه شده و سپس مخلوط به مدت ۱ تا ۷ روز به حال خود رها می شود تا آهک بر خاک اثر کرده و مخلوط جا بیافتد.

ج : تمام آهک در یک مرحله به خاکی که پس از اصلاح باید به عنوان یک سطح عملیات مورد استفاده قرار گیرد اضافه می‌شود. در این حالت به جای خرد و نرم کردن خاک و شرایط مربوط به وزن مخصوص، لازم است که با کوبیدن مخلوط آنرا متراکم کرد.

د : تمام آهک در دو مرحله به خاکهائی که خرد و نرم کردن آنها بسیار دشوار است اضافه می‌شود. در این حالت بین مرحله اول و دوم اضافه‌کردن آهک باید اجازه داده شود تا مخلوط خاک و آهک جا بیافتد.

omoorepeyman.ir

برای تثبیت خاک با آهک در ضخامتهای زیاد باید تمام آهک در دو مرحله بـه خـاک اضـافه شود. بر اساس تجربیات موجود حداکثر ضخامتی که تا کنون با آهک تثبیـت شـده برابـر بـا ۶۰ سانتیمتر بوده است. در حال حاضر مخلوط کن هایی وجود دارند که قادرند تمام آهک را در یـک مرحله تا ضخامت ۴۵ سانتیمتری با خاک مخلوط کرده و آنرا خرد و نرم کنند. تثبیت خاک آمـاده شده با اینگونه مخلوط کن ها به این ترتیب است که پس از پخش آهـک بـر روی خـاک آمـاده شده عمل اختلاط خاک با آهک و همچنین خرد و نرم کردن مخلوط تواماً و بـا چنـد بـار عبـور مخلوط کن به طور عمقی از بالا به پائین انجام می‌شود. در عبور اول مخلوط کن، ابتدا خـاک در ضخامتی برابر با ۱۵سانتیمتر کنده شده و با آهک، موجود در خاک مخلوط و خرد و نرم می‌شـود. سپس در عبور های دوم، سوم و چهارم مخلوط کن، خاک در ضخامتهای به ترتیب برابـر بـا ۲۳، ۳۰، ۳۸ سانتیمتر کنده شده و خرد و نرم می‌شود. این عملیات با چند بار عبور بیشتر مخلوط کـن ادامه می یابد تا اینکه ضخامت کل لایه تا عمق ۴۵ سانتیمتری بطور کامل با آهک مخلوط شود. برای تراکم لایه نیز از غلطک های لرزندهٔ چرخ فولادی یا چرخ لاستیکی سنگین اسـتفاده مـی-شود.

نحوهٔ تثبیت خاک با آهک در ضـخامتهای بیشـتر از ۴۵ سـانتیمتر (تـا حـداکثر برابـر بـا ۶۰ سانتیمتر) به این ترتیب است که ابتدا سطح آن قسمت از خاک بستر آمـاده شـده کـه تثبیـت آن مورد نظر است با شخم زن دیسک دار شخم زده شده و سپس مقداری از آهک تعیـین شـده بـر روی آن پخش می‌شود. در این مرحله مقدار آهک پخش شـده معمـولاً در حـدود ۳ درصـد وزن خشک خاک است. پس از پخش آهک مجدداً مخلوط خاک و آهک با شخم زدن دیسک دار بـه عمق ۲۰ تا ۲۵ سانتیمتری شخم زده می‌شود. سپس با استفاده از خیش بولدوزر، خاک تـا عمـق ۶۰ سانتیمتری یا بیشتر شخم زده و خرد و نرم می‌شود. بقیـه آهـک در مرحلـه دوم بـه قسـمت بالایی لایه خاک (۱۰ تا ۳۰ سانتیمتری) اضافه می‌شود و با شخم زن دیسک دار به خوبی شخم زده و خرد و نرم می‌شود تا عمل تثبیت به طور کامل انجام شود.

برای تثبیت خاکهای رسی خیلی خمیری یا خاکهای رسی که دامنه خمیری آنهـا بـیش از ۵۰ است بهتر است که اضافه کردن آهک به آنها در دو مرحله انجام شود تا عمل تثبیت خاک بهتر و

omoorepeyman.ir

کاملتر انجام شود. در این موارد ابتدا ۲ تا ۳ درصد آهک به خاک اضافه می‌شود و پس از اختلاط مخلوط به مدت یک هفته به حال خود رها می‌شود تا جا بیافتد. سپس بقیه آهک به این مخلوط اضافه می شود و بخوبی با آن مخلوط می‌شود. آهکی که در مرحله اول به خاکهای ریز دانه رسی اضافه می‌شود باعث جا افتادن آنها و همچنین سهولت در خرد و نرم کردن آنها می‌شود. آهکی که در مرحله دوم به خاک اضافه می‌شود باعث اصلاح نهایی خاک می‌شود.

۲-۳-۳-۲ اختلاط خاک و آهک در کارخانه

برای این منظور خاک مورد نظر به یک کارخانه مرکزی تهیه خاک تثبیت شده با آهک حمل شده و در این محل خاک با آهک و آب بطور کاملا یکنواخت مخلوط شده و به محل مصرف حمل می‌شود. کیفیت اختلاط و یکنواختی مخلوط خاک و آهک در کارخانه مرکزی بهتر از کیفیت اختلاط و یکنواختی مخلوط خاک و آهک در محل می‌باشد.

۲-۳-۳-۳ روش های اختلاط خاک با آهک

عمل اختلاط خاک با آهک پس از آماده کردن خاک و پخش آهک، با استفاده از ماشین آلات متداول راهسازی و کشاورزی نظیر گریدر و یا شخم‌زن دیسک‌دار و یا مخلوط‌کنهای دوار امکان‌پذیر است.

برای آنکه کیفیت خاک تثبیت شده با آهک خوب باشد و یک مخلوط یکنواخت که به مقدار کافی ماده تثبیت کننده دارد بدست آید و به نحو مقتضی کوبیده و متراکم شود لازم است که عمل خرد و نرم کردن خاک و همچنین مخلوط کردن آن با آهک به نحو احسن و در یک یا دو مرحله انجام شود.

۲-۳-۳-۳-۱ اختلاط یک مرحله‌ای

برای اختلاط یک مرحله‌ای آهک با مصالح شنی نظیر زیر اساس و خاکهای ریزدانه می‌توان از تیغه گریدر و یا مخلوط‌کنهای دوار و یا ترکیبی از آنها استفاده کرد. کیفیت و یکنواختی

omoorepeyman.ir

خاکهائیکه با استفاده از مخلوط‌کنهای دوار با آهک تثبیت شده‌اند بهتر بوده و عملیات تثبیت در مدت زمان کمتری انجام شده است.

۲-۳-۳-۳-۲ اختلاط دو مرحله‌ای

روش اختلاط دو مرحله‌ای شامل اختلاط اولیه خاک و آهک و عمل آوردن آن بمدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت یا بیشتر و سپس اختلاط مجدد و یا اختلاط نهایی است. در مرحله اول اختلاط، آهک پخش شده باعث جا افتادن خاک می‌شود. برای آنکه آهک بیشترین تاثیر و واکنش را در این مرحله بر خاک داشته باشد ابعاد کلوخه‌ها برای خاکهای رسی آماده شده باید کوچکتر از ۵ سانتیمتر باشد. به همین دلیل توصیه می شود قبل از رها کردن مخلوط برای جا افتادن و برای آنکه جا افتادن خاک و آهک بخوبی انجام شود باید میزان رطوبت مخلوط در هوای گرم حدود ۲ درصد بیشتر از رطوبت بهینه و در هوای خنک و مرطوب حدود رطوبت بهینه آن باشد.

پس از اختلاط اولیه و برای محافظت مخلوط در برابر بارندگی احتمالی یا کربناته شدن باید آنرا با استفاده از غلطکهای چرخ لاستیکی کوبید تا سطح آن نسبتاً متراکم شود. خاک رس معمولا پس از ۲۴ تا ۴۸ ساعت به قدر کافی ترد می‌شود و می‌توان آنرا در مرحله دوم اختلاط کاملا خرد و نرم کرد. مرحله دوم اختلاط پس از جا افتادن خاک انجام می‌شود. در این مرحله نیز ممکن است آب‌پاشی مصالح لازم باشد تا درصد رطوبت آن به درصد رطوبت بهینه برسد. در هوای گرم باید میزان آب بکاررفته بیشتر از رطوبت بهینه باشد تا به این ترتیب قسمتی از رطوبت مخلوط که در اثر تبخیر سطحی از دست می‌رود جبران شود.

برای مرحله اول اختلاط خاک و آهک می‌توان از وسایل متداول شخم‌زنی نظیر شخم‌زن دیسک‌دار یا شخم‌زن گریدر استفاده کرد لیکن برای مرحله دوم اختلاط بهتر است که از مخلوط کنهای دوار استفاده شود. استفاده از تیغه گریدر برای اختلاط آهک با خاکهای رسی خمیری مناسب نیست.

omoorepeyman.ir

۲-۳-۳-۳-۳ اختلاط خاک و آهک با تیغه گریدر

اختلاط خاک و آهک با استفاده از تیغه گریدر بستگی به نحوه پخش آهک دارد. در موادریکه آهک بصورت خشک بکار برده می‌شود خاک مورد نظر باید در دو طرف طول راه ریسه شود و سپس آهک بر روی خاک ریسه شده و یا در وسط راه و در بین خاک ریسه شده در طرفین راه پخش شود. سپس خاک ریسه شده با استفاده از تیغه گریدر برگردانده می شود تا خاک، آهک پخش شده را بطور کامل بپوشاند. پس از آن با برگرداندنهای مکرر، خاک و آهک مخلوط می‌شوند. پس از آنکه خاک و آهک بخوبی با یکدیگر مخلوط شدند باید مقدار آب لازم که قدری بیشتر از درصد رطوبت بهینه است به مخلوط خاک و آهک اضافه و با برگردانهای مجدد، خاک و آهک و آب بخوبی با یکدیگر مخلوط شوند. سپس مخلوط آماده شده در سطح راه پخش، پروفیله و متراکم می شود در مواردیکه آهک بصورت دوغاب به خاک اضافه می شود باید عمل اختلاط در لایه‌های با ضخامت کم انجام شود.

نحوه اختلاط به این ترتیب است که ابتدا خاک مورد نظر در یک طرف طول راه ریسه شده و سپس مقداری از خاک ریسه شده توسط تیغه گریدر در عرض راه پخش می‌شود. پس از آنکه مقداری از دوغاب آهک به این خاک پخش شده اضافه شد با استفاده از تیغه‌گریدر جمع شده و در طرف دیگر راه ریسه می‌شود. این عملیات باید تا اضافه کردن مقدار لازم دوغاب آهک به تمام خاک ریسه شده ادامه یابد و سپس مخلوط حاصل در عرض راه پخش، پروفیله و متراکم شود. اگر مراحل پخش خاک ریسه شده، اضافه کردن دوغاب آهک، جمع کردن و ریسه کردن مخلوط خاک و دوغاب آهک در طرف دیگر راه در ضخامتهای ۵ سانتیمتری انجام شود، مخلوط نسبتا همگنی که دارای یکنواختی بسیار خوبی نیز هست بدست می‌آید.

۲-۳-۳-۳-٤ اختلاط خاک و آهک با مخلوطکنهای دوار

نحوه اختلاط خاک و آهک با استفاده از مخلوطکنهای دوار بستگی به نوع مخلوطکن، جنس و نوع خاک دارد. اگر از مخلوطکنهای دوار مجهز به سیستم چرخش سریع و یا مخلوطکنهای خودرو که مجهز به سیستم خرد و سرند کننده هستند. برای اختلاط خاک با آهک استفاده شود، ابتدا تمام آهک لازم بطور یکنواخت بر روی آن قسمت از راه که تثبیت خاک آن مورد نظر است

omoorepeyman.ir

پخش می‌شود. سپس عمل اختلاط خاک و آهک بطور عمقی از بالا به پایین انجام می‌شود. برحسب نوع وسیله و همچنین جنس خاک عمل اختلاط کامل خاک با آهک با یک تا سه بار عبور مخلوط‌کن انجام می‌شود. آب لازم ممکن است که در حین اختلاط خاک با آهک توسط آب‌پاش بر روی مخلوط پاشیده شود و یا مستقیما به داخل محفظه مخلوط‌کن اضافه شود. اضافه کردن آب به داخل محفظه مخلوط‌کن که در حین اختلاط خاک و آهک انجام می‌شود باعث می شود که خاک و آهک و آب توأما در مجاورت همدیگر قرار گرفته و عمل خرد و نرم کردن خاک و اختلاط آن با آهک بهتر انجام شود.

صرفنظر از نحوه اختلاط خاک و آهک، عمل اختلاط باید آنقدر ادامه یابد تا اینکه رنگ تمامی مخلوط یکنواخت گردد.

۲-۳-٤ کوبیدن مخلوط خاک و آهک

کوبیدن مخلوط خاک و آهک آماده شده باید بلافاصله پس از آنکه مخلوط خاک و آهک بخوبی آب‌پاشی و مخلوط شد انجام شود. مقدار آب لازم برای پخش بر روی مخلوط خاک و آهک باید به اندازه‌ای باشد که بهنگام کوبیدن مخلوط و تا پایان عملیات غلطک‌زنی، رطوبت مخلوط در حدود رطوبت بهینه بدست آمده در طرح اختلاط خاک و آهک باشد.

کوبیدن و متراکم کردن در دو یا سه مرحله انجام می شود. برای مرحله اول کوبیدن مصالح تثبیت شده بهتر است که از غلطکهای پاچه بزی لرزنده استفاده شود و عملیات تراکم تا مادامیکه دیگر پاچه‌های غلطک در مصالح کوبیده شده فرو نرود ادامه داشته باشد. برای مرحله دوم غلطک زنی از غلطکهای چرخ لاستیکی استفاده می‌شود تا آثار غلطکهای پاچه بزی از بین رفته و سطح لایه کوبیده شده کاملا متراکم شود. در برخی موارد ممکن است از غلطکهای چرخ فولادی برای مرحله سوم و کوبیدن نهایی مصالح تثبیت شده با آهک استفاده شود. لازم به یادآوری است که در هر مرحله از کوبیدن مخلوط و درصورت لزوم، عملیات آب‌پاشی در هنگام کوبیدن ادامه پیدا می‌کند تا تراکم نهایی طبق مشخصات بدست آید. درصورتیکه تراکم بدست آمده کمتر از حد

omoorepeyman.ir

مورد نظر باشد مخلوط کوبیده شده باید مجددا شخم و سپس با اضافه کردن آهک دوباره تا بدست آوردن تراکم تعیین شده متراکم شود.

در نقاط غیر قابل دسترس که امکان متراکم کردن مخلوط با غلطکهای فوق الذکر امکان پذیر نیست می‌توان از غلطکهای کوچک موتوری استفاده کرد، مشروط بر آنکه تراکم مورد نظر با این غلطکها بدست آید.

در برخی موارد برای آنکه تاثیر آهک بر خاک بیشتر و بهتر انجام شود و خاک جا بیافتد، ممکن است که عملیات غلطک زنی و کوبیدن نهایی برای مدتی به تعویق بیافتد. این تعویق برای لایه زیراساس نباید از پایان عملیات اختلاط مصالح با آهک تا تراکم نهایی مخلوط از ۳۶ ساعت تجاوز نماید. حداکثر مدت اجرایی تثبیت مصالح زیراساس با آهک را برای هر قسمت از راه از هنگامیکه آهک به مصالح اضافه می‌شود تا پایان کوبیدن نهایی به ۳ روز متوالی (۷۲ ساعت) محدود می شود.

درصورت رها کردن مخلوط برای جا افتادن، چنانچه با آب‌پاشی مکرر از خشک شدن مخلوط و همچنین کربناته شدن آهک آن جلوگیری شود، تاخیر کمتر از ۲ روز در تراکم نهایی مصالح شنی و تاخیر کمتر از ۴ روز در تراکم نهایی خاکهای ریزدانه تاثیر زیان آوری بر عملکرد مخلوط ندارد. درمواردیکه کوبیدن نهایی مخلوط در زمانهای ذکر شده امکان پذیر نباشد لازم است که برای جبران آهکی که در اثر کربناته شدن و یا فرسایش از بین می‌رود مقدار ۰/۵ درصد آهک به میزان آهکی که در طرح مخلوط خاک و آهک در نظر گرفته شده است اضافه شود.

۲-۳-۵ عمل آوردن مصالح تثبیت شده با آهک

حداکثر مقاومت و دوام خاکهای تثبیت شده با آهک بستگی به نحوه عمل آوردن آنها دارد. عواملی که در عمل آمدن خاکهای تثبیت شده با آهک موثر هستند عبارتند از : درجه حرارت، رطوبت و زمان. دمای در حدود ۴ تا ۱۰ درجه سانتیگراد و رطوبت بهینه از شرایط مساعد برای عمل آمدن مصالح تثبیت شده با آهک است. برای عمل آوردن مصالح تثبیت شده با آهک بعد از تکمیل عملیات کوبید لایه می‌توان با پخش ۰/۵ تا۱ لیتر قیر محلول و یا قیر امولسیون از خشک

omoorepeyman.ir

شدن آن جلوگیری نمود و یا با آب‌پاشی سطح آنرا مرطوب نگهداشت. چنانچه از روش آب‌پاشی برای عمل آوردن خاک تثبیت شده با آهک استفاده شود لازم است که پس از آب‌پاشی با غلطک چرخ لاستیکی سبک سطح لایه ورز داده شود تا بافت سطحی آن یکنواخت باقی بماند.

۲-۳-۶ کنترل کیفیت خاکهاو مصالح تثبیت شده با آهک

کنترل کیفیت خاکها و مصالح تثبیت شده با آهک برای بدست آوردن محصولی یکنواخت، مقاوم و با دوام لازم و از ارکان مهم تثبیت خاکها و مصالح شنی با آهک محسوب می‌شود. علاوه بر آن برای آنکه مخلوط تثبیت شده با آهک عملکرد خوبی داشته باشد لازم است که کلیه مراحل تثبیت خاک با آهک به نحو احسن و با نظارت مستمر انجام شود. ذیلا عوامل لازم برای کنترل کیفیت خاکهای تثبیت شده با آهک تشریح می‌شود.

۲-۳-۶-۱ نمونه برداری و آزمایش آهک

از آهک مورد مصرف باید طبق روش آشتو T 2113 نمونه‌گیری و سپس طبق روش T 219 تحت آزمایشهای دانه‌بندی و ترکیبات شیمیایی قرار گیرد. نتایج حاصل از آزمایشهای مذکور و همچنین نحوه نگهداری آهک باید با مشخصات آشتو M-216 برابری داشته باشد.

۲-۳-۶-۲ تعیین مقدار آهک

برای تعیین مقدار آهک مصرفی در مخلوطهای خاک و آهک و در مواردی که آهک بصورت خشک روی مصالح پخش می شود میتوان از بند ۲-۳-۶-۳- این دستورالعمل و یا از روش آشتو T 232 ، برای مخلوطهای تثبیت شدهٔ خاک و آهک استفاده کرد.

۲-۳-۶-۳ میزان آهک پخش شده

از آهک پخش شده بر روی مصالح باید مرتبا نمونه برداری شود. درمواردیکه آهک بصورت خشک پخش می‌شود از یک صفحه فلزی و یا برزنتی به مساحت ۰/۵متر مربع استفاده می شود. وزن متوسط ۶ نمونه نباید کمتر از ۹۵ درصد و یا بیشتر از ۱۰۵ درصد و وزن هر یک از نمونه‌ها نباید کمتر از ۹۰ درصد و یا بیشتر از ۱۱۰ درصد مقدار تعیین شده در طرح اختلاط خاک

omoorepeyman.ir

و آهک باشد. درمواردیکه آهک بصورت دوغاب پخش می‌شود مقدار آنرا می‌توان با اندازه‌گیری چگالی دوغاب اندازه‌گیری کرد. چگالی دوغاب آهک با استفاده از هیدرومتر و یا با اندازه‌گیری حجم و وزن آن تعیین می‌شود.

۲-۳-۶-٤ خرد و نرم کردن مخلوط خاک و آهک

برای تعیین نشانه‌ای از کیفیت خرد و نرم شدن مخلوط خاک و آهک از آزمایش دانه‌بندی و یا نسبت خرد و نرم شدن مخلوط خاک و آهک استفاده می‌شود. روش اخیر الذکر برای تعیین نشانه‌ای از خرد و نرم شدن مخلوط خاک و آهک در استاندارد BS 1924 تشریح شده است. در این روش ابتدا نمونه‌ای به وزن m_1 از مخلوط خاک و آهک تهیه و پس از خشک کردن بر روی آن آزمایش دانه‌بندی انجام می‌شود و وزن مصالح مانده روی الک ۵ میلیمتری (m_2) اندازه‌گیری می‌شود. سپس کلوخه‌های مانده روی این الک بخوبی خرد و نرم شده و مخلوط مجددا دانه‌بندی و این‌بار نیز وزن مصالح مانده روی الک ۵ میلیمتری (m_3) اندازه‌گیری می‌شود و نسبت خرد و نرم شدن مصالح برحسب درصد از رابطه(۲-۱) بدست می‌آید.

$$P = 100 (m_1 - m_2) / (m_1 - m_3) \qquad (۲-۱)$$

حداقل نسبت خرد و نرم شدن خاک بستر تثبیت شده با آهک بزرگتر از ۳۰ میباشد. بر اساس نشریه ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور برای زیراساس تثبیت شده با آهک باید حداقل ۹۸ درصد وزنی دانه‌های مخلوط خاک و آهک از الک ۲۵ میلیمتری و حداقل ۶۰ درصد وزنی مخلوط از الک ۴/۷۵ میلیمتری عبور نماید.

۲-۳-۶-۵ وزن مخصوص و درصد تراکم خاکهای تثبیت شده با آهک

برای تعیین وزن مخصوص خاکهای تثبیت شده در محل می‌توان از روش ماسه (T 191)، روش بادکنک (T 205) و یا روش هسته‌ای (T 238) استفاده نمود. حداقل وزن مخصوص تعیین شده برای خاک بستر راه بستگی به نوع راه و همچنین نوع مصالح دارد. حداقل تراکم نسبی لایه زیراساس تثبیت شده با آهک نباید کمتر از صد درصد وزن مخصوص مصالحی باشد که طبق روش اشتو اصلاح شده T 180 بدست می‌آید. در ضمن برای بدست آوردن نشانه‌ای از

omoorepeyman.ir

یکنواختی آهک موجود در مخلوط و همچنین تعیین نقاط مناسب برای انجام آزمایش وزن مخصوص درجا و تعیین درصد تراکم خاک تثبیت شده با آهک از محلول فنل فتالئین استفاده می شود. چنانچه پس از پخش محلول فنل فتالئین بر روی خاک تثبیت شده با آهک تغییر رنگ محلول فنل فتالئین به رنگ صورتی تند اتفاق نیافتد مخلوط فاقد مقدار آهک کافی است. توصیه می‌شود که در این نقاط آزمایش تعیین وزن مخصوص و تراکم خاک انجام شود.

۲-۳-۶-۶ تعیین درصد رطوبت خاکهای تثبیت، شده با آهک

برای تعیین درصد رطوبت خاکهای تثبیت شده با آهک می‌توان از روشهای متداول نظیر روش خشک کردن نمونه مصالح در گرمخانه با روش ASTM D 2216 و یا روش هسته‌ای ASTM D 3017 یا T 239 آشتو استفاده نمود. نشریه ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی حد رواداری رطوبت مخلوط خاک و آهک را در هنگام کوبیدن مخلوط به حداکثر ۲± درصد رطوبت بهینه محدود کرده است. آئین نامه روسازی راههای ایران نیز توصیه کرده است که در فصول غیر زمستان رطوبت مخلوط حدود ۳ درصد بیشتر از رطوبت بهینه باشد تا پس از تبخیر آب مخلوط در هنگام پخش و کوبیدن برابر رطوبت بهینه باشد.

۲-۳-۶-۷ لایه تثبیت شده با آهک

تشخیص لایه تثبیت شده با آهک جهت کنترل کیفیت عملیات اجرایی تثبیت دارای اهمیت ویژه است زیرا تجربه نشان داده است که ظاهرا خاک طبیعی قبل و بعد از اختلاط با آهک مشابه و تقریبا یکسان است. برای تشخیص ضخامت و همچنین عمق خاک تثبیت شده با آهک می‌توان از ماده شیمیایی فنل فتالئین استفاده کرد. اگرچه با این روش ساده نمی‌توان میزان آهک موجود در عمق خاک تثبیت شده با آهک را اندازه‌گیری کرد لیکن با استفاده از این روش می‌توان نشانه‌ای از وجود آهک برای اصلاح خاک را بدست آورد. نحوه استفاده از محلول فنل فتالئین به این ترتیب است که مقداری از این محلول بر روی خاک و در عمق مورد نظر پخش می‌شود. تغییر رنگ محلول خاک به رنگ صورتی تند نشانه‌ای از وجود آهک در خاک و PH بالای مخلوط است (PH=۱۲/۵).

omoorepeyman.ir

۲-۳-۶-۸ راندمان اختلاط

کیفیت خاکهای تثبیت شده با آهک بستگی به کیفیت عمل اختلاط خاک و آهک در محل دارد. یک روش ساده برای تعیین کیفیت عمل اختلاط خاک و آهک در محل تعیین راندمان اختلاط (μ) است. طبق تعریف راندمان اختلاط عبارت است از نسبت مقاومت فشاری مصالح تهیه شده در کارگاه به مقاومت فشاری همان مصالح در آزمایشگاه که برحسب درصد گزارش می‌شود. برای محاسبه راندمان اختلاط ابتدا لازم است که از مصالح تثبیت شده در کارگاه نمونه‌گیری شده و سپس نمونه بدست آمده به دو قسمت مساوی تقسیم شود. سپس با استفاده از مصالح یک قسمت بین ۳ تا ۵ نمونه استوانه‌ای شکل طبق روش ASTM D 5102 تهیه و تحت آزمایش فشاری تک محوری قرار می گیرد. از مصالح قسمت دیگر نیز پس از آنکه این مصالح در آزمایشگاه بخوبی و صد درصد مخلوط شد بین ۳ تا ۵ نمونه استوانه‌ای شکل تهیه و عینا مشابه نمونه‌های قبلی تحت آزمایش فشاری تک محوری قرار می‌گیرد. از تقسیم میانگین مقاومت فشاری ۳ تا ۵ نمونه مخلوط شده در کارگاه به مقاومت فشاری ۳ تا ۵ نمونه مخلوط شده در آزمایشگاه راندمان اختلاط برحسب درصد بدست می‌آید. حداقل راندمان اختلاط قابل قبول برابر با ۸۰ درصد می باشد.

۲-۳-۶-۹ کنترل سطح تمام شده

سطح تمام شده لایه تثبیت شده با آهک تا قبل از اجرای عملیات قشر روی آن باید مرطوب نگه داشته شود و از عبور و مرور وسایل نقلیه بر روی آن جلوگیری شود. درصورتیکه لایه تثبیت شده باید الزاما برای مدتی زیر عبور ترافیک قرارگیرد باید با یک لایه از قیر محلول و یا امولسیون قیر پوشش داده شود و از تردد بر روی سطح اندود شده تا سه روز جلوگیری شود. مقدار قیر اندود برای پوشش خاک تثبیت شده برابر ۰/۷ کیلوگرم درهر متر مربع می‌باشد.

۲-٤ تثبیت لایه‌های روسازیهای شنی با آهک

مراحل و عملیات اجرایی تثبیت مصالح لایه‌های روسازی شنی راهها مشابه مراحل و عملیات اجرایی تثبیت خاک بستر راه است با این تفاوت که مصالح این لایه‌ها از منابع قرضه تهیه و برای

omoorepeyman.ir

مصرف به محل اجرای پروژه حمل می شود. به همین دلیل معمولا این مصالح نیازی بـه خـرد و نرم کردن ندارند. لیکن درصورت مشاهده کلوخه و مواد زاید در این مصالح، لازم اسـت کـه ایـن مصالح نیز خرد و نرم شوند و از حالت کلوخه خارج و عاری از مواد زاید خارجی گردند.

ضخامت لایه‌های زیراساس، اساس و رویه شنی پس از اختلاط با آهک و پخش بـر روی سـطح راه و قبل از آب‌پاشی و تراکم معمولا در حدود ۲۵ تا ۳۰ درصـد بیشـتر از ضـخامتهای منـدرج در نقشه‌های اجرایی انتخاب می‌شوند تا پس از آب‌پاشی و تراکم ضخامتی برابر با ضخامت مندرج در نقشه‌های اجرایی بدست آید. انتخاب ضخامت کمتر یا بیشـتر از ۲۵ تـا ۳۰ درصـد بـرای پخـش مخلوط خاک و آهک بستگی به دانه‌بندی، جنس مصالح و نحوه پخش مخلوط دارد. بنـابراین بـه منظور تعیین اندازه صحیح ضخامت پخش مخلوط خاک و آهک و برای آنکه ضخامت نهایی پس از تکمیل عملیات تراکم با ضخامت های اجرایی منطبق باشد ممکن است لازم شود که در حاشیه راه قطعات کوچکی بصورت آزمایشی اجراء و بررسی شوند.

از نکات دیگری که برای اجرای عملیات تثبیت هریک از لایه‌های روسازی با آهـک مهـم و لازم الاجراء است آنستکه برای تثبیت هر یک از این لایه‌ها، لایه زیر آن بایـد بـه نحـو مقتضـی متراکم و کوبیده شده باشد. در غیر اینصورت امکان تامین تراکم و بدست آوردن وزن مخصـوص لازم برای مصالح لایه‌ای که تثبیت آن مورد نظر است مقدور نخواهد بود. بنابراین لازم است کـه قبل از اجرای عملیات تثبیت نقاط سست و ضعیف لایه زیر آن شناسایی و اصلاح شوند، بطوریکه یک سکوی عملیاتی و اجرایی مستحکم جهت شیب‌بندی و پروفیله کردن هر یـک از لایـه‌هـای زیر اساس، اساس و یا رویه شنی آماده و فراهم شده باشد. لازم به ذکـر اسـت کـه نیمـرخ هـای طولی و عرضی برای لایه‌های روسازی باید منطبق با رقوم مندرج در نقشـه‌هـای اجرایـی باشـد. مطلب دیگری که رعایت آن برای انجام عملیات تثبیت مصـالح لایـه‌هـای زیراسـاس، اسـاس و رویه‌های شنی حایز اهمیت ویژه است نحوه ریسه کردن و شکل دادن به مصالح ریسه شده است. ریسه کردن مصالح لایه‌های زیراساس، اساس و رویه‌هـای شـنی بهتـر اسـت کـه بـا اسـتفاده از دستگاه ریسه‌کن مصالح انجام شود تا آرایش ظاهری مصالح ریسه شده به نحوی باشد که پخـش آهک بر روی آن بطور یکنواخت انجام شود. برای اختلاط آهک با مصـالح لایـه‌هـای زیراسـاس،

omoorepeyman.ir

اساس و رویه شنی می‌توان از مخلوط‌کنهای دوار، تیغه گریدر و یا ترکیبی از آنها استفاده کرد، لیکن کیفیت اختلاط این مصالح با آهک با استفاده از مخلوط‌کنهای دوار یکنواختر و بهتر است. پس از آنکه مصالح و آهک با یکدیگر بخوبی مخلوط شدند باید آب لازم به مخلوط اضافه شود و عمل اختلاط مصالح ادامه یابد تا مخلوط همگن و یکنواختی بدست آید. سپس مخلوط خاک و آهک مرطوب در عرض راه پخش و بخوبی متراکم می‌شود. برای آنکه عملیات تراکم خاک و آهک بخوبی انجام شود حداکثر ضخامت متراکم شده برای تثبیت لایه‌های زیر اساس برابر با ۲۰ سانتیمتر و اساس برابر با ۱۵ سانتیمتر می باشد. درصورتیکه ضخامت لایه‌هائی که تثبیت آنها مورد نظر است بیشتر از مقادیر فوق شده باشد باید عملیات اجرایی تثبیت مصالح در دو یا چند مرحله انجام شود. در مرحله اول بخشی از ضخامت کل لایه بطور کامل و با استفاده از روشهای معمول تثبیت می‌شود. مرحله دوم عملیات اجرایی تثبیت برای تکمیل ضخامت کل لایه باید بلافاصله پس از اتمام عملیات اجرایی مرحله اول و همچنین قبل از گیرش کامل مصالح تثبیت شده شروع شود و مشابه مرحله اول عملیات تثبیت بطور کامل انجام شود. شرط لازم برای شروع عملیات تثبیت مصالح در مرحله دوم و تکمیل ضخامت کل لایه آنست که سطح آن بخش از ضخامت که در مرحله اول تثبیت شده است کاملا سفت و سخت نشده باشد و هنوز تازه و مرطوب باشد و فاقد نقاط سست و ضعیف و یا دانه‌های شل باشد. درغیر اینصورت و قبل از شروع عملیات تثبیت و اجرای ضخامت باقیمانده، باید تدابیر لازم برای بوجود آوردن چسبندگی و پیوستگی کامل بین ضخامت هائی که در مرحله اول و دوم اجراء می‌شوند اتخاذ گردد. این تدابیر شامل شخم‌زن سطحی، خراش دادن و یا اندود سطحی لایه ای است که در مرحله اول عملیات تثبیت اجراء شده است. اندود سطحی برای بوجود آوردن چسبندگی و پیوستگی بین لایه‌ها باید با استفاده از قیر امولسیون و یا قیرهای محلول انجام شود. درصورت تاخیر زیاد در اجرای ضخامت باقیمانده لازم است حدود ۰/۵ تا ۱ سانتیمتر از سطح ضخامت اجراء شده در مرحله اول تراشیده و برداشت شود و سپس باقیمانده ضخامت لایه اجراء شود.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل سوم

تثبیت خاک و مصالح شنی با سیمان پرتلند

بطور کلی، هر خاکی که حاوی کمتر از ۲ درصد مواد آلی بوده و مقدار سولفات قابل حل در آب آن از مقادیر مشخص شده در این دستور العمل تجاوز نکند، قابلیت تثبیت شدن با سیمان پرتلند را دارد. سیمان حاوی اکسیدهای آهک (CaO)، سیلیس (SiO_2)، آلومینیم (Al_2O_3)، اکسید آهن (Fe_2O_3) و اکسیدهای دیگر است. انواع مختلف سیمان پرتلند عبارتند از:

۱- سیمان پرتلند معمولی یا نوع I

۲- سیمان پرتلند معمولی اصلاح شده یا نوع II

۳- سیمان پرتلند تندگیر یا نوع III

۴- سیمان پرتلند با حرارت زائی کم یا نوع IV

۵- سیمان پرتلند ضد سولفات یا نوع V

در اکثر فعالیتهای عمرانی از سیمان پرتلند نوع I استفاده می‌شود. از سیمان نوع II در موارد زیر استفاده می شود:

الف: خاک حاوی بیش از ۰/۱۰ و کمتر از ۰/۲۰ درصد سولفات باشد.

ب: آب زیرزمینی در تماس با مواد تثبیت شده بیشتر از ppm ۱۵۰۰ یون سولفات نداشته باشد.

سیمان نوع III در مواردی که گیرش سریع سیمان و افزایش مقاومت اولیهٔ مورد نظر مصلحت باشد مصرف می‌شود. سیمان نوع IV معمولا در عملیات سدسازی و در مواردیکه باید نرخ افزایش حرارت ناشی از هیدراسیون کمتر باشد مصرف می‌شود. سیمان نوع V معمولا در مواردی مصرف می‌شود که آبهای زیرزمینی در تماس با خاک تثبیت شده با سیمان حاوی بیش از ppm ۱۰۰۰۰ یون سولفات باشند و یا اینکه مقدار سولفات خاک مصرفی از ۰/۲۰ درصد تجاوز

omoorepeyman.ir

نماید. درصد سه کلسیم آلومینات سیمان نوع V تقریبا یک سوم درصد سه کلسیم آلومینات سیمان نوع I است. ضمناً صرف نظر از این که چه نوع سیمانی برای تثبیت خاک با سیمان مورد استفاده قرار می گیرد، آب مصرفی برای تثبیت خاک با سیمان نباید حاوی بیش از ۵۰۰ppm یون سولفات باشد. مکانیزم تثبیت خاک با سیمان مشابه مکانیزم تثبیت خاک با آهک است با این تفاوت که در تثبیت خاک با آهک فعالیت پوزولانی برای فعل و انفعال شیمیائی خاک با آهک از طریق ترکیبات موجود در خاک تامین می‌شود، در صورتیکه مواد پوزولانی برای تثبیت خاک با سیمان بصورت بالاقوه در سیمان وجود دارد و از طریق خاک تامین نمی‌گردد.

۳-۱ خاک مناسب جهت تثبیت با سیمان

بطورکلی چنانچه دامنه خمیری خاک بیشتر از ۳۰ باشد عمل اختلاط خاک با سیمان دشوار بوده و تثبیت بخوبی انجام نمی‌گیرد. در اینگونه موارد چنانچه تثبیت خاک با سیمان همچنان مد نظر باشد بهتراست که برای پائین آوردن خواص خمیری خاک ابتدا از آهک و سپس از سیمان برای تثبیت خاک استفاده شود. درصد سیمان برای تثبیت خاکهای خوب دانه‌بندی شده که دارای ضریب یکنواختی بزرگتر از ۵ هستند (نظیر شن و ماسه) به مراتب کمتر از خاکهای ریز دانه بد دانه بندی شده می باشد.

مشخصات فنی خاکهای تثبیت شده با سیمان بستگی به جنس خاک، مقدار سیمان، وزن مخصوص خاک تثبیت و کوبیده شده، کیفیت اختلاط سیمان و خاک، شرایط عمل آوردن مخلوط و زمان دارد. مقاومت خاکهای تثبیت شده با سیمان در اثر مرور زمان افزایش می‌یابد. این افزایش مقاومت در روزهای اول با سرعت بیشتری انجام می‌شود و سپس با گذشت زمان از سرعت ازدیاد مقاومت خاک تثبیت شده کاسته می‌شود.

جدول (۳-۱) حدود درصدهای مناسب سیمان را برای خاکهای مختلف براساس رده بندی اشتو و یونیفاید نشان می دهد.

سیمان بر خاکهای ماسه‌ایکه حاوی بیش از ۲ درصد مواد آلی هستند یا PH آنها کمتر از ۵/۳ است اثر چندانی ندارد. سیمان بهترین اثر را بر خاکهای شنی و ماسه‌ای خوب دانه‌بندی شده دارد.

omoorepeyman.ir

از نقطه نظر فنی و اقتصادی خاکهائیکه اندازه درشت‌ترین دانه آنها کوچکتر از ۵۰ میلیمتر است و حداقل ۵۵ درصد وزنی آنها از الک شماره ۴ و حداقل ۳۵ درصد وزنی آنها از الک شماره ۱۰ عبور می‌کند و دارای ۱۰ تا ۳۵ درصد اجزاء کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلیمتر هستند بهترین گزینه برای ثبیت با سیمان محسوب می‌شوند. خاکهائیکه در طبقه‌بندی اشتو در گروههای A-۱ تا A-۷ قرار می‌گیرند قابلیت تثبیت شدن با سیمان را دارند. خاکهای A- ۱، A- ۲ و A- ۳ که کمتر از ۳۵ درصد وزنی آنها از الک شماره ۲۰۰ عبور می‌کند مناسبترین خاکها برای تثبیت با سیمان محسوب می‌شوند. در حالیکه خاکهای آلی به هیچ وجه برای تثبیت با سیمان مناسب نیستند زیرا وجود این مواد در خاک (بر حسب نوع و درصد آنها)باعث کند شدن فرایند هیدراسیون سیمان و در نتیجه مانع سخت شدن مخلوط خاک و سیمان می‌شود.

جدول (۳-۱): درصدهای وزنی مناسب سیمان برای تثبیت انواع خاکها

گروه اشتو	گروه یونیفاید	حدود درصد وزنی سیمان
A-۱-a	GW,GP,GM,SW,SP,SM	۵
A-۱-b	GP,GM,SP,SM	۶
A-۲	GM,GC,SM,SC	۷
A-۳	SP	۹
A-۴	ML,CL	۱۰
A-۵	ML,MH,CH	۱۰
A-۶	CL,CH	۱۲
A-۷	ML,CH	۱۳

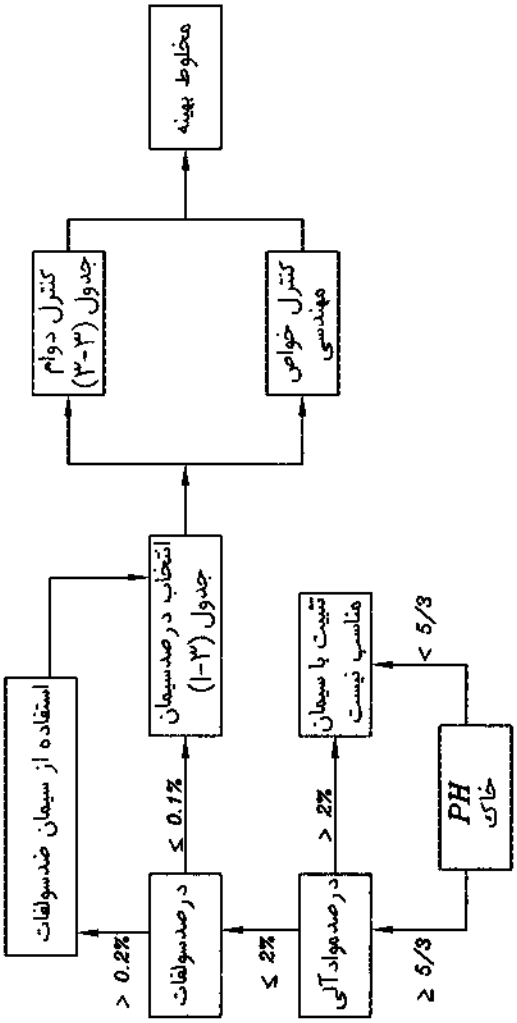
۳-۲ طرح تثبیت خاک با سیمان

هدف از طرح تثبیت خاک با سیمان تعیین درصد سیمان برای خاکی با مشخصات معین است. درصد سیمان انتخاب شده نه تنها باید اهداف تثبیت خاک را تأمین کند بلکه باید از نظر اقتصادی

omoorepeyman.ir

نیز توجیه‌پذیر باشد. شکل(۳-۱) مراحل عمومی سنجش مصالح را برای تثبیت با سیمان نشان می‌دهد. شکل(۳-۱) می‌تواند بعنوان راهنما برای تعیین درصد سیمان یک خاک مورد استفاده قرار گیرد. در این شکل کنترل اولیه PH خاک برای آنستکه خاکهائیکه حاوی مواد آلی مضر هستند و واکنش ضعیفی با سیمان دارند مشخص شوند. تعیین درصد سولفات خاک نیز امکان واکنشهای منفی سولفاتها بر عمل تثبیت را مشخص می‌کند. درصد سیمان اولیه برای تثبیت خاکها علاوه بر هدف از تثبیت خاک بستگی به دانه‌بندی و درصد ریزدانه خاک دارد. بطور کلی درصد سیمان لازم، با افزایش درصد رس و لای در خاکها افزایش می‌یابد. معمولاً درصد سیمان لازم برای تثبیت خاکهای شنی و ماسه‌ای خوب دانه‌بندی شده کمتر از خاکهای شنی و ماسه‌ای بد دانه‌بندی شده است. پس از آنکه درصد سیمان برای تثبیت یک خاک تخمین زده شد باید نمونه‌هایی با درصدهای مختلف سیمان ساخته شود و در آزمایشگاه ، مشخصات فنی، نظیر مقاومت خمشی، مقاومت فشاری، دوام خاک تثبیت شده با سیمان مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد و با توجه به اهداف تثبیت درصد سیمان لازم انتخاب شود.

omoorepeyman.ir



شکل (۳-۱) : مراحل عمومی ارزیابی مصالح برای تثبیت با سیمان

omoorepeyman.ir

۳-۲-۱ تعیین درصد سیمان لازم

معمولاً از سه روش آزمایش متداول و استاندارد شده ، که عبارتند از: وزن مخصوص- درصد رطوبت (ASTM D558)، آزمایش تر و خشک شدن (ASTM D559) و آزمایش یخبندان- ذوب (ASTM D560) برای تعیین درصد سیمان لازم به منظور تثبیت خاکها با سیمان استفاده می‌شود. آزمایش وزن مخصوص- درصد رطوبت از آن جهت دارای اهمیت است که اولا با استفاده از نتایج این آزمایش، درصد رطوبت بهینه و همچنین مقدار آب لازم برای تثبیت خاک با سیمان در کارگاه برای بدست آوردن حداقل تراکم مورد نظر مشخص می‌شود و ثانیا کنترل نتیجه عملیات تثبیت خاک در کارگاه براساس وزن مخصوص خشک خاک تثبیت شده با سیمان انجام می‌شود.

آزمایش تر و خشک شدن نشانه‌ای از عملکرد خاک تثبیت شده با سیمان را در برابر تغییرات عوامل جوی و تر و خشک شدن‌های متوالی در اختیار قرار می‌دهد. این آزمایش نشان می‌دهد که تغییرات رطوبت خاک تثبیت شده و عمل آمده به مدت ۷ روز در اتاق مرطوب چه تاثیری بر عملکرد و بطور غیرمستقیم بر مقاومت خاک تثبیت شده دارد.

آزمایش یخبندان- ذوب علاوه بر تاثیر عوامل جوی بر عملکرد خاک تثبیت شده با سیمان تاثیر تغییرات زیاد رطوبت و تکرار یخبندان و ذوب را که موجب خرد شدن و کاهش مقاومت خاک تثبیت شده و عمل آمده می‌شود بررسی و ارزیابی می‌کند. این آزمایشها در حقیقت نشانه‌ای از دوام مصالح تثبیت شده با سیمان را در اختیار قرار می‌دهند. لیکن مشخص نمی‌کنند که مقاومت مصالح تثبیت شده با سیمان چه مقدار خواهد بود. جدول(۳-۲) حدود درصد تقریبی سیمان برای برخی از خاکها را براساس آزمایشهای دوام نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از انجام آزمایشهای تر و خشک و یخبندان- ذوب بر حسب افت وزنی نمونه‌های آزمایش شده گزارش می‌شود. درصد سیمان لازم باید طوری انتخاب شود که میزان افت وزنی مصالح در آزمایشهای یخبندان- ذوب و یا تر و خشک شدن از مقادیری که در جدول (۳-۳) نشان داده شده است بیشتر نشوند.

omoorepeyman.ir

جدول (۳-۲) : حدود درصد تقریبی سیمان برای برخی از خاکها

رده خاک		حدود معمول سیمان مورد نیاز		تخمین مقدارسیمان برای آزمایش وزن مخصوص-درصد رطوبت(درصد وزنی)	مقدار سیمان برای آزمایشهای تر و خشک شدن و یخبندان- ذوب (درصدوزنی)
اشتو	یونیفاید	درصدحجمی	درصد وزنی		
A-۱-a	GW, GP, GM, SW SP, SM	۵ – ۷	۳– ۵	۵	۳ – ۵ – ۷
A-۱-b	GM, GP, SM, SP	۷ - ۹	۵ - ۸	۶	۴ – ۶ – ۸
A-۲	GM, GC, SM, SC	۷ - ۱۰	۵ - ۹	۷	۵ – ۷ - ۹
A-۳	SP	۸ - ۱۲	۷ - ۱۱	۹	۷ – ۹ – ۱۱
A-۴	CM, ML	۸ - ۱۲	۷ - ۱۲	۱۰	۸ – ۱۰ – ۱۲
A-۵	ML, MH, CH	۸ - ۱۲	۸ - ۱۳	۱۰	۸ – ۱۰ – ۱۲
A-۶	CL, CH	۱۰ - ۱۴	۹ - ۱۵	۱۲	۱۰ - ۱۲ - ۱۴
A-۷	OH, MH, CH	۱۰ - ۱۴	۱۰ - ۱۶	۱۳	۱۱ - ۱۳ – ۱۵

جدول (۳-۳): دوام مورد نیاز

طبقه بندی خاک (آشتو M145)	حداکثر درصد افت وزن مجاز
A-1 , A-3 , A-2-4 , A-2-5	۱۴
A-2-6 , A-2-7 , A-4 , A-5	۱۰
A-6 , A-7	۷

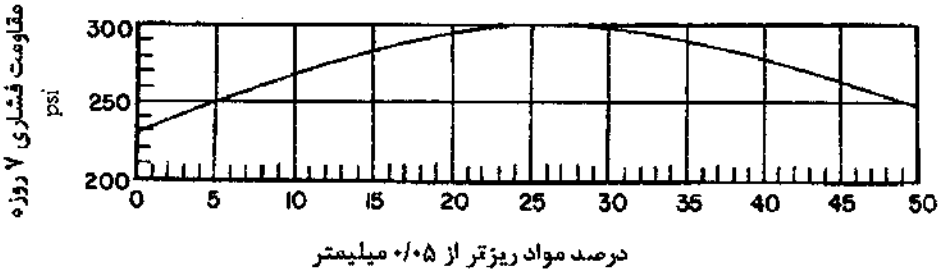
آزمایش فشاری تک محوری یک آزمایش تکمیلی است و برای تعیین حداقل مقاومت قابل قبول خاکهای تثبیت شده با سیمان که نتایج حاصل از آزمایشهای دوام بر روی آنها رضایت بخش بوده است انجام می‌شود.

خاک تثبیت شده‌ایکه درصد سیمان آن براساس انجام آزمایش فشاری تک محوری بدست آمده باشد معمولاً دارای دوام کافی در برابر عوامل جوی خواهد بود لیکن عکس این مطلب

omoorepeyman.ir

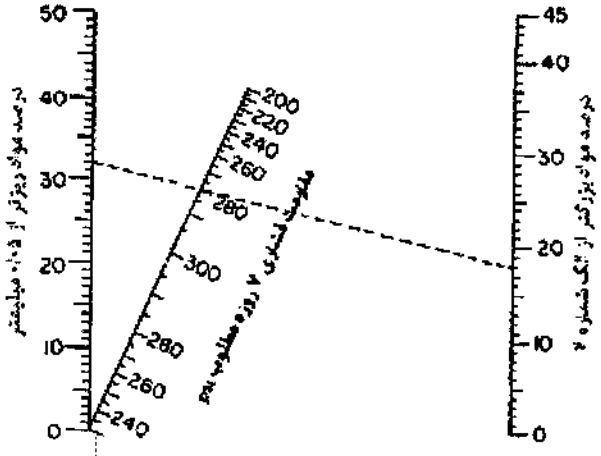
صادق نیست، یعنی خاک تثبیت شده‌ایکه درصد سیمان آن بر اساس نتایج آزمایشهای دوام بدست آمده باشد لزوما دارای حداقل مقاومت قابل قبول نخواهد بود. بر اساس موازین مقاومتی، خاکی که درصد سیمان آن براساس آزمایشهای دوام تعیین شده است اگر پس از عمل آوردن به مدت ۷ روز در اتاق مرطوب دارای مقاومت فشاری برابر با ۲۱ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باشد و علاوه بر آن با گذشت زمان بر مقاومت آن اضافه شود برای تثبیت با سیمان مناسب است.

شکل(۳-۲) حداقل مقاومت فشاری قابل قبول خاکهای تثبیت شده با سیمان را که اندازه درشت ترین دانه آنها کوچکتر از ۴/۷۶ میلیمتر است، نشان می‌دهد و شکل(۳-۳) حداقل مقاومت فشاری قابل قبول خاکهای تثبیت شده با سیمان را که اندازه درشت ترین دانه آنها بزرگتر از ۴/۷۶ میلیمتر است، مشخص می‌کند.



شکل (۳-۲) : حداقل مقاومت فشاری قابل قبول خاکهای تثبیت شده با سیمان که اندازه درشت ترین دانه آنها کوچکتر از ٤/٧٦ میلیمتر است

omoorepeyman.ir



شکل (۳-۳) : حداقل مقاومت فشاری قابل قبول خاکهای تثبیت شده با سیمان که اندازه درشت ترین دانه آنها بزرگتر از ٤/٧٦ میلیمتر است

۳-۳ عملیات اجرایی تثبیت خاک با سیمان

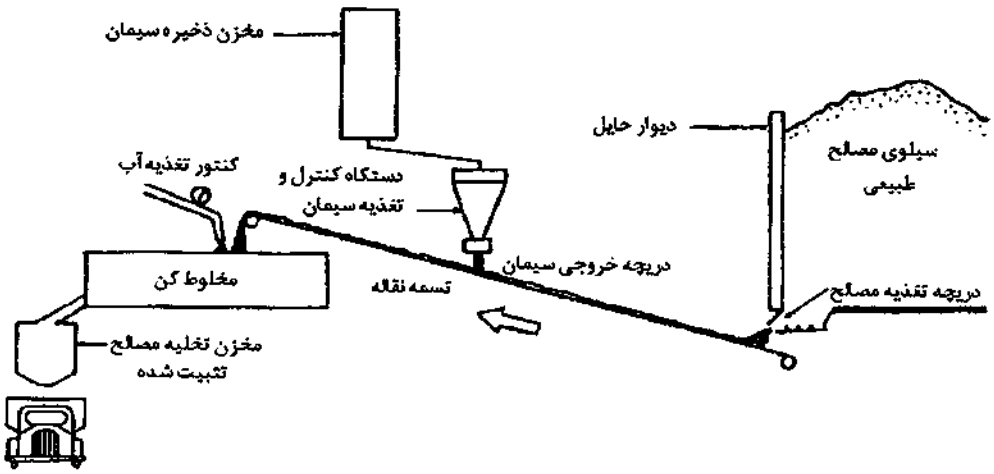
مراحل عملیات اجرایی تثبیت خاک با سیمان مشابه مراحل عملیات اجرایی تثبیت خاک با آهک است با این تفاوت که سیمان یک ماده زودگیر است و به همین دلیل باید طول راه به قطعات کوچک تقسیم شود تا بتوان تمام عملیات تثبیت خاک با سیمان از جمله کوبیدن و تراکم نهایی خاک را قبل از گیرش سیمان به پایان رساند. این طول بین ۱۰۰ تا ۴۵۰ متر بوده و بستگی به روش انجام عملیات تثبیت خاک با سیمان، درجه حرارت و رطوبت هوا، ضخامت لایه، نوع و تعداد ماشین آلات و تجربه فنی افراد دارد. مدت اجرای عملیات ساختمانی هرقطعه، برای هر یک از لایه‌های روسازی از زمانیکه سیمان به مصالح اضافه می‌شود تا پایان عملیات تراکم نباید از ۵ ساعت تجاوز کند.

omoorepeyman.ir

عملیات تثبیت خاک با سیمان نباید به هیچوجه در هوای سرد و مادامیکه خاک یخزده است انجام شود. زمان مناسب برای تثبیت خاک با سیمان موقعی از سال است که در آن درجه حرارت هوای محل پروژه بیشتر از ۷ درجه سانتیگراد باشد و حداقل به مدت یک هفته گرم باقی بماند.

عملیات اجرایی تثبیت خاک با سیمان ممکن است به روش در جا با استفاده از وسایل متداول راهسازی یا کشاورزی نظیر گریدر، تراکتور شخم‌زن، تانکر آب‌پاش، کامیون کمپرسی اطاق دار یا کامیون کمپرسی مجهز به مخزن پخش سیمان یا مخلوط‌کن های دوار و غلطک انجام شود و یا اینکه خاک مورد نظر به یک کارخانه مرکزی تثبیت خاک با سیمان حمل شده و پس از آنکه خاک و سیمان در مجاورت آب بخوبی و بطور کاملا یکنواخت با یکدیگر مخلوط شدند برای مصرف به محل اجرای پروژه حمل و سپس کوبیده و متراکم شود. روش اخیر الذکر بیشتر برای تثبیت مصالح شنی یا ماسه‌ای و یا لایه‌های روسازی که از محل قرضه تامین می‌شوند و احتیاجی به خرد و نرم کردن ندارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل(۳-۴) نحوه اختلاط خاک، سیمان و آب را در یک کارخانه مرکزی تثبیت خاک با سیمان بصورت شماتیک نشان می‌دهد. از آنجا که کنترل رطوبت بهینه خاک و همچنین استفاده از تجهیزات خاص از عوامل کلیدی برای خرد و نرم کردن خاکهای رسی خمیری محسوب می‌شوند و خرد ونرم کردن اینگونه خاکها به نحو احسن در کارخانه مرکزی تثبیت خاک با سیمان مقدور نیست، تثبیت اینگونه خاکها با سیمان به روش تثبیت در محل توصیه می‌شود.

omoorepeyman.ir



شکل(۳-٤) : نحوه اختلاط خاک، سیمان و آب در یک کارخانه مرکزی تثبیت خاک با سیمان

مراحل و عملیات اجرایی تثبیت خاک با سیمان شامل آماده کردن خاک، پخش سیمان، اختلاط و آب‌پاشی، کوبیدن و تسطیح و عمل آوردن خاک تثبیت و متراکم شده با سیمان است.

۳-۳-۱ آماده کردن خاک

آماده کردن خاک برای تثبیت با سیمان شامل شیار دادن و شخم‌زدن خاک با استفاده از شانه گریدر و یا تراکتور شخم‌زن به ضخامت و عمق مندرج در نقشه‌های اجرایی و همچنین خرد و نرم کردن کلوخه‌های خاک می‌شود.

پس از خرد و نرم کردن خاک باید کلیه مواد گیاهی و دانه‌های سنگی بزرگتر از ۷۵ میلیمتر جمع آوری و از خاک خارج شوند بطوریکه خاک آماده شده عاری از هرگونه مواد زاید خارجی برای پخش سیمان باشد. از آنجا که خرد و نرم کردن خاکهای رسی خمیری در حالت مرطوب دشوار است ممکن است لازم باشد که عملیات خرد و نرم کردن خاک در دو مرحله انجام شود. در مرحله اول خاک به عمق مورد نظر با استفاده از تراکتور شخم‌زن یا شانه گریدر شیار داده شده و

omoorepeyman.ir

برای مدتی به حال خود رها می‌شود تا رطوبت آن کاهش یابد. سپس خرد و نرم کردن خاک با استفاده از شخم‌زنهای خاردار و یا مخلوط‌کنهای دوار انجام می شود. برای آنکه خرد و نرم کردن خاکهای رسی و مصالح ریزدانه بطور موثرتری امکان پذیر باشد باید خرد و نرم کردن آنها در رطوبت بهینه انجام شود.

در ضمن خاک باید طوری خرد و نرم شود که بیش از ۸۰ درصد وزنی آن از الک شماره۴ (۴/۷۶ میلیمتر) عبور کند. تثبیت خاک با سیمان به روش درجا برای خاکهایی مناسب است که دامنه خمیری آنها کمتر از ۱۸ است. در اینگونه موارد ممکن است لازم باشد که با افزودن مقدار کمی آهک به خاک (حدود ۱ تا ۲ درصد) رطوبت خاک را تا حد ضروری کاهش داد. قبل از پخش سیمان بر روی سطح خاک بستر آماده شده، رقوم سطح خاک بستر و همچنین نیمرخهای طولی و عرضی باید مطابق رقوم مندرج در نقشه‌های اجرایی باشد.

۳-۳-۲ پخش سیمان

پخش سیمان بر روی خاک آماده شده عینا مشابه پخش آهک بر روی مصالح انجام می‌شود و ممکن است بصورت دستی و یا با استفاده از پخش‌کننده‌های مکانیکی بصورت خشک یا دوغاب انجام شود. درصورتیکه سیمان طرح بصورت دوغاب بر روی خاک پخش شود نسبت آب به سیمان دوغاب سیمان باید بین ۰/۷ تا ۰/۸ باشد. پخش سیمان در دمای کمتر از ۵ درجه سانتیگراد و هوای بارانی به هیچوجه مجاز نیست.

۳-۳-۳ اختلاط خاک با سیمان

اختلاط خاک با سیمان در محل با استفاده از تیغه گریدر و یا مخلوط‌کنهای دوار به نحوی که شرح آن برای اختلاط خاک با آهک آورده شد انجام می‌شود. عمل اختلاط خاک با سیمان باید آنقدر ادامه پیدا کند تا رنگ مخلوط یکنواخت گردد. بطوریکه با چشم نتوان در یک محل سیمان اضافی یا مصالح سنگی اضافی را تشخیص داد. در صورتیکه درحین پخش سیمان بر روی خاک بارندگی شود، پخش سیمان و اختلاط آن با خاک باید فورا قطع شود و سیمان پخش شده بلافاصله با خاک مخلوط شده و کاملا متراکم گردد.

omoorepeyman.ir

در هنگام پخش آب باید ماشین آب‌پاش مجهز به دستگاه کنترل کننده آب باشد تا به این ترتیب بتوان میزان آب مصرفی را کنترل کرد. مقدار آب لازم برای اختلاط خاک با سیمان براساس رطوبت بهینه مخلوط طبق روش ASTM D558 یا ASTM D1557 تعیین می‌شود. این میزان آب باید در عمل برای مقدار آبی که در اثر فرآیند هیدراسیون سیمان و همچنین تبخیر از دست می‌رود تصحیح شود. مقدار آبی که در اثر تبخیر و فرآیند هیدراسیون از دست می‌رود بستگی به درجه حرارت و میزان رطوبت نسبی هوا داشته و ممکن است به حدود۱۰ لیتر در متر مربع یا بیشتر برسد.

اختلاط خاک و سیمان در رطوبتی برابر با ۲ درصد بیشتر از رطوبت بهینه مخلوط جبران رطوبتی را که در اثر تبخیر سطحی و فرآیند هیدراسیون سیمان از دست می‌رود خواهد کرد. یک روش ساده برای تخمین میزان رطوبت خاکهای تثبیت شده با سیمان قرار دادن نمونه‌ای از مخلوط داخل کف دست و فشردن آن است. اگر مخلوط دارای رطوبت بهینه باشد فشردن نمونه در بین انگشتان دست فقط باعث مرطوب شدن کف دست می‌شود و بدون آنکه نمونه خرد و نرم شود شکل می‌گیرد و سفت می‌شود بطوریکه براحتی می‌توان آنرا دونیم کرد. اگر رطوبت مخلوط بیشتر از رطوبت بهینه باشد فشردن نمونه در بین انگشتان دست باعث خیس شدن کف دست می‌شود. چنانچه رطوبت مخلوط کمتر از رطوبت بهینه باشد فشردن نمونه در بین انگشتان دست باعث خرد و نرم شدن نمونه در بین انگشتان دست خواهد شد.

برای اختلاط مصالح لایه‌های روسازی در محل، مصالح هر لایه‌ای که تثبیت آن با سیمان مورد نظر است باید بصورت مقعر پخش و تنظیم شود تا سیمان مصرفی به هدر نرود. میزان آب لازم برای اختلاط لایه‌های روسازی باید دقیقا کنترل شود تا بعد از اختلاط کامل خاک و سیمان رطوبت مخلوط برابر رطوبت بهینه و یا حداکثر یک درصد کمتر از آن باشد.

۳-۳-٤ کوبیدن مخلوط خاک و سیمان

مخلوط مرطوب باید با استفاده از غلطکهای مناسب متراکم شود. انتخاب نوع غلطک بستگی به نوع خاک دارد. برای کوبیدن اولیه مخلوط برحسب مورد از غلطکهای پاچه‌بزی و یا چرخ

omoorepeyman.ir

لاستیکی و برای کوبیدن نهایی از غلطکهای چرخ لاستیکی یا چرخ فولادی استفاده می شود. عملیات تراکم باید بلافاصله پس از افزودن آب به مخلوط خاک وسیمان و حداکثر پس از آنکه ۳۰ دقیقه از اختلاط خاک، سیمان و آب سپری شد شروع شود. عملیات تراکم برای لایه‌های روسازی بعد از آنکه آب به مخلوط خاک وسیمان اضافه شد باید در مدت حداکثر ۳ ساعت به پایان رسد.

در نقاطی که امکان استفاده از غلطکهای بزرگ وجود ندارد. می‌توان از غلطکهای کوچک موتوری ویبره استفاده نمود مشروط بر آنکه تراکم مورد نظر تامین گردد. در نشریه ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی ایران حداقل تراکم لازم برای لایه تثبیت شده با سیمان برابر ۱۰۰ درصد تعیین شده است. برای آنکه عملیات تثبیت و تراکم مخلوط خاک وسیمان بخوبی انجام شود حداکثر ضخامت متراکم شده در لایه های زیر سازی نباید از ۲۰ سانتیمتر تجاوز نمایند ضمن آنکه تراکم مورد نظر در تمام ضخامت ۲۰ سانتیمتر تأمین شود.

۳-۳-۵ عمل آوردن خاک تثبیت شده با سیمان

از آنجا که مقاومت خاک تثبیت شده با سیمان بستگی به درجه حرارت، رطوبت و زمان دارد. یک دوره ۳ تا ۷ روزه برای عمل آوردن خاکهای تثبیت شده با سیمان لازم است. به همین دلیل برای جلوگیری از خشک شدن سطح لایه تثبیت شده باید آنرا مرطوب نگه داشت تا مخلوط خود را بگیرد. برای جلوگیری از تبخیر رطوبت مخلوط معمولا از حصیر، پوششهای پلاستیکی، پارچه برزنت مرطوب، ماسه مرطوب و یا یک لایه نازک قیر محلول کندگیر یا تندگیر و یا قیر امولسیون استفاده می‌شود. مقدار قیر امولسیون در حدود ۰/۵ تا ۱ لیتر در متر مربع و مقدار قیر مخلوط در حدود ۰/۷ لیتر در متر مربع می‌باشد. مواد قیری باید بلافاصله بعد از عملیات کوبیدگی و یا حداکثر ۲۴ ساعت بعد از آن بر روی سطح مرطوب پخش شود. قبل از پخش مواد قیری سطح مخلوط باید مرطوب و عاری از نقاط خشک و دانه‌های شن باشد. به همین دلیل در بعضی موارد لازم است که قبل از پخش مواد قیری سطح مخلوط با آب‌پاشی مرطوب شود و از عبور و مرور وسایل نقلیه سنگین جلوگیری بعمل آید. برای اجرای لایه‌های ضخیم که اجرای آنها باید در دولایه یا

omoorepeyman.ir

بیشتر انجام شود استفاده از مواد قیری برای عمل آوردن بخشی از لایه اجـرا شـده بـه هیچوجـه توصیه نمی‌شود.

در مواردیکه از ماسه برای عمل آوردن مخلوط متراکم شده استفاده می‌شود باید سـطح لایـه تثبیت شده قبل از اجرای لایه بعدی روی آن از ماسه پاک شود. برای پاک کردن ماسـه از سـطح لایه تثبیت شده می‌توان از جاروی مکانیکی یا هوای فشرده (کمپرسور باد) استفاده نمود.

۳-۳-۶ کنترل کیفیت خاکها و مصالح تثبیت شده با سیمان

کنترل کیفیت خلک تثبیت شده با سیمان برای کسب اطمینـان از کیفیـت مطلـوب مصـالح و همچنین کنترل عملیات اجرایی برای بدست آوردن یک مخلوط مطلوب که اهداف تثبیـت خـاک با سیمان را تامین نماید انجام می‌شود.

کنترل کیفیت عملیات اجرایی خاکهای تثبیت شـده بـا سـیمان شـامل کنتـرل نـوع و نحـوه نگهداری سیمان، مقدار سیمان پخش شده، درصد رطوبت مخلوط، خرد ونرم کردن مخلـوط، وزن مخصوص و درصد تراکم، ضخامت لایه و یکنواختی مخلوط و عمل آوردن مخلوط تثبیت شده بـا سیمان می‌شود.

۳-۳-۶-۱ نوع و روش نگهداری سیمان

بطورکلی در اکثر موارد از سیمان نـوع I و یـا نـوع II بـرای تثبیـت خـاک بـا سـیمان طبـق مشخصات مندرج در مشخصات فنی خصوصی پروژه استفاده می‌شود. از سیمان مصرفی باید طبق روش آشتو T127 نمونه‌برداری شده و مورد آزمایش قرار گیرد. نتایج بدست آمده از آزمایشها باید با مشخصات آشتو M 85 یا ASTM C 150 برابری نماید. سیمان مصرفی باید در برابـر عوامـل جوی محافظت شده و قبل از مصرف در انبارهای سرپوشیده نگهداری شود. درصـورتیکه سـیمان بصورت کیسه‌ای مصرف می‌شود نباید در انبار بیش از ۱۲ کیسـه روی هـم قـرار گیرنـد. سـیمان مصرفی نباید در مجاورت رطوبت قرار گیرد یا کلوخه شده باشد. از مصرف سیمانهائی کـه سـخت شده باشند باید بطورکلی صرفنظر شده و از محل کارگاه خارج و دور ریخته شوند.

omoorepeyman.ir

۳-۳-۶-۲ تعیین مقدار سیمان مصرفی

برای کنترل میزان سیمان پخش شده بر روی خاک و مصالح لایه‌های روسازی می‌توان از صفحات فلزی یا برزنتی و دقیقا مشابه آنچه برای کنترل پخش آهک تشریح شد استفاده نمود.

۳-۳-۶-۳ تعیین درصد رطوبت خاک تثبیت شده با سیمان

درصد رطوبت خاک تثبیت‌شده با سیمان در کارگاه با روش آشتو T239 یا ASTM D 2216 و یا روش هسته‌ای ASTM D3017 انجام می‌شود.

۳-۳-۶-٤ خرد و نرم کردن مخلوط

برای تعیین نشانه‌ای از کیفیت خرد و نرم شدن مخلوط خاک و سیمان از آزمایش دانه‌بندی و نسبت خرد و نرم شدن مخلوط خاک و سیمان استفاده می‌شود. نحوه عمل به این ترتیب است که پس از آنکه خاک و سیمان و آب بخوبی با یکدیگر مخلوط شدند از مخلوط مرطوب نمونه‌گیری و بر روی آن آزمایش دانه‌بندی انجام می‌شود. در این صورت باید ۸۰ درصد مصالح از الک شماره ۴ و ۱۰۰ درصد مصالح از الک ۲۵ میلیمتری عبور نماید. برای محاسبه درصد عبوری از الکهای مذکور باید وزن مصالح شنی و درشت دانه مانده روی این الکها از وزن کل مصالح الک شده کسر شود.

علاوه بر آزمایش دانه‌بندی می توان از نسبت خرد و نرم شدن نیز برای تعیین کیفیت خرد و نرم شدن مخلوط خاک و سیمان استفاده نمود:

$$\text{نسبت خرد و نرم شدن} = m_1 / (m_2 - m_3) * 100$$

که در آن:

m_1 = درصد وزنی مخلوط خشک شده خاک و سیمان عبوری از الک نمره ۴

m_2 = درصد وزنی مصالح خشک شده مانده روی الک نمره ۴

m_3 = درصد وزنی کل مخلوط خشک شده

نسبت خرد و نرم شدن مخلوط خاک و سیمان باید بیشتر از ۶۰ درصد باشد.

omoorepeyman.ir

۳-۳-٦-۵ تعیین وزن مخصوص و درصد تراکم

وزن مخصوص خاکهای تثبیت شده با سیمان را می‌توان با استفاده از روش ماسه (اشتو T191 یا ASTM D1556)، روش بادکنک (اشتو T205 یا ASTM D2167) و یا هسته‌ای (اشتو T238 یا ASTM D2922) تعیین نمود. حداقل وزن مخصوص تعیین شده برای خاک بستر راه بستگی به نوع راه و همچنین نوع مصالح دارد و برابر با ۹۵ تا ۱۰۰ درصد حداکثر وزن مخصوص طرح که به روش ASTM D558 یا ASTM D1557 بدست می‌آید، تعیین می‌شود. حداکثر وزن مخصوص لایه روسازی تثبیت شده با سیمان نباید کمتر از صد در صد وزن مخصوص طرح که به روش T 134 در آزمایشگاه تعیین می‌شود باشد. در صورتی که وزن مخصوص بدست آمده کمتر از میزان تعیین شده در مشخصات باشد باید مخلوط کوبیده شده مجددا شخم زده شود و سپس با اضافه کردن سیمان لازم دوباره آنقدر کوبیده شود تا وزن مخصوص مورد نظر تامین گردد.

۳-۳-٦-٦ تعیین یکنواختی اختلاط خاک با سیمان

ضخامت لایه تثبیت شده با سیمان را می توان پس از اتمام عملیات تراکم و درحین انجام آزمایش وزن مخصوص که به روش ماسه یا بادکنک انجام می‌شود اندازه‌گیری کرد. برای اندازه‌گیری یکنواختی اختلاط خاک و سیمان و همچنین ضخامت لایه از محلول فنل فتالئین استفاده می‌شود. نحوه عمل به این ترتیب است که مقداری محلول با غلظت ۲ درصد فنل فتالئین بر روی جدار چاله حفر شده پخش می‌شود. تغییر رنگ محلول فنل فتالئین به رنگ صورتی تند نشانه وجود سیمان در خاک تثبیت شده است. رنگ خاک طبیعی بدون سیمان فقط در مواقعی که خاک حاوی کلسیم فراوان باشد تغییر می‌کند. در غیر این‌صورت رنگ خاک تغییر نکرده و ثابت باقی می‌ماند. ضخامت خاک تغییر رنگ یافته را می‌توان با متر یا خط‌کش اندازه‌گیری کرد.

۳-٤ تثبیت لایه‌های زیراساس، اساس و رویه شنی با سیمان

مراحل و عملیات تثبیت مصالح لایه‌های زیراساس، اساس و رویه شنی راهها با سیمان دقیقا مشابه مراحل و عملیات اجرایی تثبیت لایه‌های زیرسازی با سیمان است. مشخصات فنی مصالح

omoorepeyman.ir

تثبیت شده با سیمان برای مصرف در لایه های زیراساس و اساس باید منطبق با ضوابط و معیارهای مندرج در مشخصات فنی خصوصی پروژه باشد.

omoorepeyman.ir

فصـــــل چهارم
تثبیت خاک و مصالح شنی با قیر

استفاده از قیر برای اندود کردن مصالح سنگی و چسباندن آنها بـه یکـدیگر، و همچنـین غیرقابل نفوذ کردن رویه راهها در برابر آب سالهاست که با موفقیت در ایران انجام می‌شود. مکانیزم تثبیت خاکها با قیر برخلاف مکانیزم تثبیت خاکها با آهک یا سیمان است. بدین معنا که افزایش مقاومت و تغییر در خواص خمیری خاکها با آهـک یـا سـیمان درنتیجـه واکـنش شیمیایی و پوزولانی انجام می‌شود، درصورتیکه قیـر یـک مـاده خنثـی اسـت بعلـت داشـتن خاصیت چسبندگی فقط باعث اتصال دانه‌ها و ذرات خاک قیر اندود شده به یکدیگر و افزایش مقاومـت آن مـی‌شـود. اسـتفاده از مخلوطهـای قیـری در منـاطقی کـه در معـرض ریـزش فراورده‌های نفتی نظیر بنزین، نفت، گازوئیل و یا روغنها قرار دارند توصیه نمی‌شود. دراینگونه مناطق اگر تثبیت خاک با قیر همچنان مورد نظر باشد بهتر است که سطح خاک تثبیت شـده با قیر با اجرای یک لایه غیر حساس دربرابر فراورده‌های نفتی محافظت شود.

٤-١ خاک مناسب جهت تثبیت با قیر

انتخاب نوع قیر برای تثبیت خاکها بستگی بـه عوامـل زیـادی از جملـه جـنس و بافـت سطحی خاک، دانه‌بندی، درصد ریزدانه، دامنه خمیری، شـرایط جـوی محـل اجـرای پـروژه، میزان ترافیک، نحوه عملیات تثبیت و اهداف تثبیت خاک با قیر دارد. بطور کلی خاکهایی که برای تثبیت بستر روسازی و لایه های زیر سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند طبق مشخصات ASTM D 4223 نباید بیش از ۲۵ درصد مصالح مانده روی الک شـماره ۴ داشـته و ارزش

omoorepeyman.ir

ماسه ای آنها کمتر از ۲۵ درصد نباشد و در عین حال حاصلضرب دامنه خمیری خاک در درصد رد شده از الک شماره ۲۰۰ از ۶۰ درصد تجاوز نکند.

از آن جهت که اندود کردن دانه‌های ریز با قیر دشوار است ابتدا باید اینگونه خاکها را از حالت کلوخه خارج و سپس کاملا خرد نمود به نحویکه بتوان کلیه دانه‌ها را بطور کامل با قیر اندود کرد. بنابراین خاکهای ریزدانه ای که فاقد مشخصات فوق الذکر باشند. برای تثبیت با قیر مناسب نیستند. در اینگونه موارد ممکن است لازم باشد که با افزودن مقدار کمی سیمان یا آهک به خاک خواص خمیری آن اصلاح شود و پس از انجام ارزیابی‌های لازم و درصورت مناسب بودن خاک برای تثبیت با قیر نسبت به تثبیت آن با قیر اقدام شود.

٤-۲ طرح تثبیت خاک با قیر

عملیات طرح تثبیت مصالح خاکی با قیرهای محلول و امولسیون برای بستر روسازی و زیرسازی در کارخانه و یا در محل به منظور تولید انواع مختلف آسفالتهای سرد و به منظور تعیین درصد قیر مناسب باید براساس مشخصات ASTM D4223 انجام شود.

لازم به یادآوری است که تصمیم گیری در مورد تثبیت خاک بستر راه با قیر برای عملیات زیرسازی به مقدار زیادی بستگی به تجربه مهندسی و قضاوت حرفه‌ای و به ویژه توجیه فنی و اقتصادی دارد. در اینگونه موارد باید امکانات محلی و اقتصادی بودن تثبیت خاک با قیر مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

٤-۳- تثبیت مصالح لایه‌های روسازی

طرح تثبیت مصالح روسازی با قیر برای استفاده در لایه‌های روسازی در نشریه ۱۰۱ و آئین نامه روسازی راهها، نشریه ۲۳۴ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور شامل مشخصات مصالح سنگی، قیر، چگونگی طرح اختلاط، آزمایشهای کنترل کیفیت و عملیات اجرایی آن به تفصیل ارایه شده است. یادآوری میشود که مشخصات ASTM D4223 برای لایه‌های روسازی کاربرد ندارد.

omoorepeyman.ir

٤-٤ عملیات اجرایی تثبیت خاک با قیر

عملیات اجرایی تثبیت خاک زیرسازی بستر راه با قیر شامل آماده‌کردن خاک، پخش قیر، اختلاط خاک با قیر، عمل آوردن مخلوط و متراکم کردن آن است.

٤-٤-١ آماده کردن خاک

رقوم خاک بستر راه باید قبل از عملیات تثبیت خاک با قیر مطابق رقوم مندرج در نقشه‌های اجرایی باشد. برای تثبیت خاک بستر راه با قیر، ابتدا لازم است که سطح راه به کمک کلنگ گریدر تا عمق و عرض مشخص شده شخم زده شود. سپس خاک شخم شده با استفاده از خردکننده‌های خاردار و یا هر وسیله مناسب دیگر بخوبی خرد و نرم شود. در حین خرد و نرم کردن خاک و پس از آن باید کلیه مصالح نامناسب نظیر ریشه و کنده درختان و دانه‌های بزرگتر از ۶۳ میلیمتر جمع آوری و از محوطه کار خارج شوند بطوریکه خاک آماده شده عاری از هرگونه مواد زاید خارجی باشد. سپس خاک شخم شده برای مدتی به حال خود رها می‌شود تا خشک شود.

خاک آماده شده باید برای پخش قیر بر روی آن بشکل هندسی منظم با استفاده از تیغه گریدر و یا استفاده از قالب ریسه که معمولا به پشت گریدر وصل می‌شود در یک طرف راه ریسه شود.

٤-٤-٢ پخش قیر

پس از مشخص شدن درصد قیر مناسب مقدار قیر لازم برای پخش بر روی خاک ریسه شده توسط ماشینهای قیرپاش مجهز به گرم کن، پخش می‌شود.

قیر مصرفی برای تثبیت خاک را می‌توان با توجه به نوع خاک، شرایط جوی و اقتصادی و سایر امکانات محلی از بین قیرهای محلول و یا قیرآبه‌ها انتخاب نمود. درجه حرارت پخش این نوع قیرها در جدول (۴-۱) نشان داده شده است. درجه حرارتهای نشان داده شده در این جدول حداقل دمای گرم کردن قیر را نشان می‌دهد. توجه به زیرنویس جدول (۴-۱) برای

omoorepeyman.ir

نوع قیر	درجه حرارت در واحد مخلوط کننده		درجه حرارت پخش قیر (۴)	
قیرابه‌ها	دانه‌بندی پیوسته	دانه‌بندی باز	آسفالت مخلوط در محل	آسفالت سطحی
RS-1	–		–	۲۰–۶۰
RS-2	–		–	۵۰–۸۵
HFRS-2	–		–	۵۰–۸۵
MS-1	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	۲۰–۷۰
MS-2	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–
MS-2h	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–
HFMS-1	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	۲۰–۷۰
HFMS-2	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–
HFMS-2h	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–
HFMS-2S	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–
SS-1	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–
SS-1h	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–
CRS-1	–		–	۵۰–۸۵
CRS-2	–		–	۵۰–۸۵
CMS-2	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–
CMS-2h	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–
CSS-1	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–
CSS-1h	(۳)۱۰–۷۰		۲۰–۷۰	–

جدول (٤-١): درجه حرارت قیر پاشی برای انواع قیرهای محلول و امولسیون

omoorepeyman.ir

نوع قیر	درجه حرارت در واحد مخلوط کننده		درجه حرارت پخش قیر (۴)	
قیرابه‌ها	دانه‌بندی پیوسته	دانه‌بندی باز	آسفالت مخلوط در محل	آسفالت سطحی
قیرهای‌محلول (۱)	–	–	–	–
MC-30	–	–	(۵)۲۰+	(۵)۳۰+
RC-MC-SC-70	(۲)۵۵-۸۰	–	(۵)۴۰+	(۵)۵۰+
RC-MC-SC-250	(۲)۷۵-۱۰۰	–	(۵)۵۵+	(۵)۷۵+
RC-MC-SC-800	(۲)۸۰-۱۱۵	–	–	(۵)۹۵+
RC-MC-SC-3000	–	–	–	(۵)۱۱۰+

ادامه جدول (٤-١): درجه حرارت قیر پاشی برای انواع قیرهای محلول و امولسیون

توضیحات جدول (۴-۱):

۱)درجه حرارت نشانداده شده برای قیرهای محلول ممکن است از درجه اشتعال قیر بیشتر باشد در چنین حالتی کلیه نکات ایمنی باید رعایت شود.

۲)قیرهای زودگیر برای مصرف در مخلوطهای آسفالتی تهیه شده در کارخانه آسفالت با درجه حرارت متوسط هم مناسب نیست.

۳)درجه حرارت قیرابه در واحد مخلوط کننده کارخانه آسفالت

۴)حداکثر درجه حرارت قیرهای محلول و خالص باید به اندازه ای باشد که از قیر در آن حرارت دود آبی رنگ متصاعد نشود.

۵)حداقل درجه حرارت

کنترل دمای گرم کردن قیر جهت جلوگیری از آتش سوزی و یا حوادث دیگر باید تمهیدات لازم اتخاذ گردد و از نزدیک نمودن شعله یا آتش که سبب انفجار قیر می‌شود جلوگیری شود.

omoorepeyman.ir

٤-٤-٣- اختلاط خاک و قیر

پس از قیرپاشی و قبل از آنکه درجه حرارت قیر مایع از درجه حرارتهای مجاز اختلاط قیر با خاک کمتر شود عمل مخلوط کردن خاک با قیر با استفاده از تیغه گریدر و یا مخلوط کنهای سیار انجام شود. استفاده از تیغه گریدر برای اختلاط خاک با قیر متداولترین روش اختلاط در محل است. نحوه اختلاط خاک با قیر با استفاده از تیغه گریدر به این ترتیب است که ماشین قیر پاش با سرعت یکنواخت در جلوی گریدر حرکت کرده و نیمی از قیر لازم را بر روی خاک ریسه شده پخش می‌کند. گریدر بلافاصله شروع به اختلاط خاک ریسه شده با قیر کرده و با برگرداندنهای مکرر عمل اختلاط را انجام می‌دهد. نیم دیگر قیر در دو مرحله بر روی خاک پخش می‌شود و در هر مرحله از پخش قیر عمل اختلاط با گریدر بلافاصله پس از پخش قیر انجام می‌شود. برای آنکه عمل اختلاط خاک با قیر با استفاده از تیغه گریدر به نحو موثرتری انجام شود بایستی طول تیغه گریدر از ۳ متر کمتر نباشد. در مواردیکه دسترسی به مخلوط کنهای سیار باشد می‌توان از این وسایل نیز برای مخلوط کردن خاک با قیر استفاده کرد. مخلوط کنهای سیار معمولا مجهز به دستگاه پخش قیر هستند که مقدار قیر لازم را مستقیما بر خاک ریسه شده اضافه و توأما عمل اختلاط را در حین حرکت انجام می‌دهد. کیفیت خاکی که با استفاده از مخلوط‌کنهای سیار مخلوط می‌شوند به مراتب بهتر و یکنواخت‌تر از کیفیت تثبیت خاکی است که با استفاده از تیغه گریدر مخلوط می‌شود.

٤-٤-٤ عمل آوردن

قبل از آنکه خاک تثبیت شده با قیرهای مایع یا آمولسیون متراکم شود باید عمل آورده شود تا روغنهای حلال قیرهای محلول و یا آب قیرآبه‌هائیکه برای تثبیت خاک استفاده شده‌اند تبخیر شود. عمل آوردن مخلوط از طریق هوا دادن آن انجام می‌شود. هوا دادن مخلوط در محل به این ترتیب است که خاک قیر اندود شده برای مدتی به حال خود رها شده و یا بصورت یک یا چند ریسه در کنار راه قرار داده می‌شود تا اینکه بیش از نیمی از روغنهای حلال قیر محلول تبخیر شده و درصد رطوبت آن به کمتر از ۲ درصد کاهش یابد.

omoorepeyman.ir

٤-۴-۵ کوبیدن مخلوط قیری

پس از کسب اطمینان از عمل آمدن مخلوط قیری، باید آنرا با استفاده از تیغه گریدر در سطح راه پخش و سپس متراکم نمود. پخش مخلوط قیری باید طوری انجام شود که ضخامت نهائی قشر متراکم شده آن از ۲ تا ۳ برابر حداکثر اندازهٔ سنگدانه تجاوز ننماید. نوع غلطکهای مناسب برای متراکم کردن این مخلوطهای قیری غلطکهای چرخ فولادی تاندم و غلطکهای چرخ لاستیکی است. تراکم خاک بستر تثبیت شده با قیر با توجه به نوع راه باید برابر تراکم مندرج در مشخصات فنی خصوصی پروژه باشد.

٤-۵ تثبیت خاک و مصالح روسازی با کف قیر

انبساط قیر با اضافه کردن آب سرد به قیر داغ در یک مخزن تحت فشار کم انجام می‌شود. اضافه کردن آب سرد به قیر داغ در یک مخزن تحت فشار کم موجب بخار شدن آب و در نتیجه کف کردن قیر و افزایش سریع حجم آن می‌شود. در این سیستم هیچگونه فعل و انفعال شیمیایی اتفاق نمی‌افتد بلکه خصوصیات فیزیکی قیر تغییر کرده و کند روانی آن بطور موقت و برای چند دقیقه به شدت کاهش پیدا می‌کند.

برای تولید کف قیر می‌توان از قیر خالص نیز استفاده کرد.از روش کف قیر- سیمان یا کف قیر- آهک برای تثبیت رویه‌های شنی و لایه‌های غیر آسفالتی روسازی استفاده می‌شود. عملیات تثبیت لایه‌های روسازی با کف قیر- سیمان یا کف قیر- آهک معمولا بصورت درجا و با استفاده از یک دستگاه خودرو سیار که مجهز به یک شخم زن قوی برای تراشیدن و برداشت مصالح و همچنین یک سیستم تولید کف قیر و یک مخلوط کن دوار و یک پخش کننده مکانیکی است انجام می‌شود. برای آنکه عمل تثبیت خاکها و مصالح با کف قیر بخوبی انجام شود، خاک باید تا عمق مورد نظر بخوبی خرد شده و از حالت کلوخه خارج شده و طبق ضوابط مندرج در مشخصات فنی پروژه متراکم شود.

برای تثبیت مصالح لایه‌های روسازی با کف قیر ابتدا لازم است که مصالح لایه مورد نظر به عمق مندرج در نقشه‌های اجرایی شخم زده شود و سپس بخوبی خرد و نرم شود به

omoorepeyman.ir

نحویکه ۱۰۰ درصد مصالح از الک ۵۰ یا ۳۷/۵و ۳۱/۵ میلیمتری عبور کند. برای متراکم کردن خاکهای تثبیت شده با کف قیر معمولا از غلطکهای چرخ لاستیکی سنگین (۲۳ تنی یا بیشتر) و یا غلطکهای ارتعاشی چرخ فولادی تاندم (۱۱ تنی یا بیشتر) استفاده می‌شود. حداکثر و حداقل ضخامت قابل تراکم و همچنین حداقل تراکم لازم برای خاکها و مصالح روسازی که با کف قیر تثبیت می‌شوند با مشخصات فنی خصوصی پروژه برابری داشته باشد. در حال حاضر هیچگونه معیار و یا استاندارد بین المللی معتبری برای طرح اختلاط و همچنین کنترل کیفیت عملیات اجرایی لایه‌های روسازی با کف قیر، کف قیر- سیمان یا کف قیر- آهک تدوین نشده است، لیکن فناوران این روش برای طرح اختلاط و همچنین کنترل کیفیت عملیات اجرایی معمولاً از آزمایش کششی غیر مستقیم و ضوابط و معیارهای نشریه شماره ۲۱ انستیتو آسفالت (MS-۲۱) که برای طرح اختلاط و کنترل کیفیت بازیابی آسفالت بروش سرد تدوین شده است استفاده می‌کنند.

omoorepeyman.ir

فصـــل پنجم

تثبیت خاکها با ترکیبی از مواد تثبیت کننده

۵-۱ تثبیت خاکها با خاکستر بادی و آهک (Lime Fly Ash (LFA))

درکشورهای صنعتی تولید کننده خاکستر بادی معمولا از این ماده به همراه آهک یـا سـیمان برای تثبیت مصالح لایه های زیر اساس و لایه اساس روسازی های انعطاف پذیر و یـا لایـه زیـر اساس روسازی های صلب استفاده می‌شود. زیرا اگر خاک ها و مصالحی که فقط با خاکستر بادی تثبیت شده اند در معرض یخبندان و ذوب مکرر و یا تغییرات رطوبـت قـرار گیرنـد بـه شـدت از مقاومت و دوام آنها کاسته شده و خرد می‌شوند.

دانه‌بندی خاکستر بادی به نحوی است که صد در صد مصالح آن از الـک شـماره ۲۰۰ عبـور می‌کند. با توجه به میزان کانیهای موجود در خاکستر بادی، بـالاخص مجمـوع درصـد سـه کـانی سیلیس، آلومینیم و آهن، انجمن آزمایش و مصالح امریکا در روش ASTM C 618 ایـن مـاده را در دو گروه C و F رده‌بندی کرده است. اختلاف عمده دو رده C و F در آن اسـت درصـد آهـک موجود در خاکستر رده C به مراتب بیشتر از درصـد آهـک خاکسـتر رده F اسـت و دیگـر آنکـه خاکسترهائی که در رده C قرار می‌گیرند دارای خاصیت نسبی گیرش بیشـتری هسـتند. خاکسـتر بادی نوع F برای تثبیت مصالح لایه های روسازی موثر نیست و در صورتیکه از سیمان به جـای آهک برای تثبیت مصالح روسازی استفاده شود، به مقدار قابل توجهی سیمان مورد نیاز خواهد بود.

omoorepeyman.ir

چنانچه از خاکستر بادی به همراه آهک کـه منبعـد و بـه اختصـار بـا حـروف LFA نمـایش داده می‌شود برای تثبیت رویه‌های خاکی و شنی استفاده شود لازم است که پس از تثبیـت خـاک روی آن با یک قشر آسفالت حفاظتی پوشش داده شود. تا از فرسایش خاک تثبیت شده جلوگیری شود.

۵-۱-۱ خاک مناسب جهت تثبیت با خاکستر بادی و آهک

از LFA می‌توان برای تثبیت خاکهای با مشخصات و دانه‌بندی‌هـای مختلـف اسـتفاده کـرد، لیکن خاکهائی که حاوی مقدار زیادی مواد آلی کربن دار هستند(بیشتر از یک درصد) به هیچوجـه برای تثبیت با LFA مناسب نیستند. در ضمن برای تثبیت خاکهائی که بعنوان لایه‌ای از روسازی استفاده می‌شود باید از خاکستر بادی رده C استفاده شود.

بطورکلی استفاده از LFA برای تثبیت خاکهای ریزدانه در مقایسه با خاکهای درشت دانه مناسبتر هستند. دوام خاکهای ریزدانه تثبیت شده با LFA بیشتر از خاکهای درشت دانه بـوده و در حـالی که مقاومت اولیه خاکهای درشت دانه تثبیت شده با LFA بیشتر از خاکهای ریزدانـه مـی باشـد. لیکن در صورت مساعد بودن شرایط (رطوبت و دما) و با توجه به اینکه با گذشت زمان بر مقاومت خاکهای تثبیت شده با LFA افزوده می‌شود این امکان وجود دارد کـه مقاومـت نهـایی خاکهـای ریزدانه برابر یا بیشتر از مقاومت نهایی خاکهای درشت دانه تثبیت شده با LFA گردد.

در دمای کمتر از ۴ درجه سانتیگراد واکنش پوزولانی در مخلوط خاک با LFA بشدت کنـد و یـا متوقف می‌شود.

۵-۱-۲ طرح تثبیت خاک با LFA

درصد خاکستر بادی و همچنین آهک مصرفی برای تثبیت خاکها علاوه بر دانـه‌بنـدی خـاک بستگی به بافت سطحی دانه‌ها، مصالح سنگی و نوع خاکستر بادی دارد. بـرای تثبیـت خاکهـا بـا LFA باید مشخصات فنی و کیفیت خاکستر بـادی مصـرفی طبـق روش ASTM C 618 مـورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد تا درصورت دارا بودن مشخصات لازم مورد استفاده قرار گیـرد. نحـوه تعیین درصد خاکستر بادی برای تثبیت خاکها به این ترتیب است کـه ابتـدا خـاک بـا درصـدهای مختلف خاکستر بادی و آب بخوبی با یکدیگر مخلوط شده و سپس با استفاده از روش تراکم اشتو

omoorepeyman.ir

T-180 نمونه‌های استوانه‌ای شکل ساخته می‌شود. سپس وزن مخصوص نمونه‌های متراکم شده طبق روش ASTM D 558 تعیین و منحنی تغییرات وزن مخصوص- درصد رطوبت و همچنین وزن مخصوص خشک- درصد خاکستر بادی ترسیم شوند. درصد خاکستر بادی‌که در آن وزن مخصوص خشک خاک تثبیت شده حداکثر است بعنوان درصد بهینه خاکستر بادی انتخاب می‌شود. سپس با در دست داشتن وزن مخصوص خشک حداکثر و مراجعه به منحنی تغییرات وزن مخصوص خشک-درصد رطوبت، خاک تثبیت شده، درصد رطوبت بهینه برای ساختن نمونه‌هایی با ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۴ درصد آهک جهت انجام آزمایشهای لازم نظیر فشاری تک محوری (ASTM D 1633)، تر و خشک شدن (ASTM D559) و یا یخبندان- ذوب (ASTM D560) تعیین می‌شود. نمونه‌های ساخته شده باید به مدت ۷ روز در گرمای ۳۸ درجه سانتیگراد عمل آورده شده و سپس تحت آزمایشهای مقاومتی و دوام قرار گیرند. معیارهای پذیرش یا عدم پذیرش خاکهای تثبیت شده با LFA طبق ضوابط مندرج در روش ASTM C 593 عبارتند از:

۱ـ حداقل مقاومت فشاری پس از اشباع در خلاء (Vacuum Saturation) برابر با ۲۸ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع.

۲ـ حداکثر افت وزنی طبق روش ASTM D 560 برابر با ۱۴ درصد.

۵-۱-۳ عملیات اجرایی تثبیت خاکها با LFA

مراحل اجرایی تثبیت خاکها با LFA عینا مشابه مراحل اجرایی عملیات تثبیت خاکها با آهک می‌باشد.

۵-۲ تثبیت خاک با آهک و سیمان

همانطوریکه در بخشهای مربوط به تثبیت خاکها با آهک یا سیمان اشاره شد اکثر خاکهای موجود در طبیعت را می توان با آهک یا سیمان تثبیت نمود. لیکن اگر خاکی از نوع بدون واکنش باشد صرفنظر از جنس و درصد آهک مصرفی و سایر عوامل مؤثر بر واکنش پوزولانی، افزایش

omoorepeyman.ir

مقاومت قابل توجهی در خاک تثبیت شده با آهک ایجاد نخواهد شد. از طرفی برای خاکهای خیلی خمیری و چسبنده که دامنه خمیری آنها بیشتر از ۳۰ است نمی توان مستقیماً از سیمان برای افزایش مقاومت آنها استفاده نمود.

در اینگونه موارد ممکن است که از آهک بعنوان یک پیش تثبیت کننده برای کاهش خواص خمیری خاک استفاده شود و پس از اصلاح خواص خمیری خاک از سیمان برای افزایش مقاومت مخلوط استفاده نمود.

۵ - ۲-۱ خاک مناسب برای تثبیت با آهک و سیمان

کلیه خاکهایی که عاری از مواد آلی و شیمیایی و همچنین حاوی کمتر ۰/۱ درصد سولفات باشند و پس از اصلاح با آهک دارای دامنه خمیری کمتر از ۳۰ باشند برای تثبیت مرکب با آهک و سیمان مناسب هستند.

۵ ـ ۲ ـ۲ طرح تثبیت خاک با آهک و سیمان

حداقل میزان آهک مصرفی برای کاهش خواص خمیری خاکها برابر با یک در صد و حداکثر مقدار آن برابر با ۳ در صد وزن خشک خاک می باشد.حداقل سیمان مصرفی نیز برابر با ۳ در صد و حداکثر مقدار آن برابر ۱۰ درصد وزن خشک مخلوط خاک و آهک میباشد که مقدار دقیق آن بر اساس آزمایشهای مقاومت و دوام تعیین می‌شود.

حداقل مقاومت فشاری خاک تثبیت شده با آهک و سیمان نباید از ۲۸ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع کمتر باشد و حداکثر افت وزنی آن طبق روش ASTM C593 نباید از ۱۴ در صد تجاوز نماید.

۵ ـ ۲ ـ۳ عملیات اجرایی تثبیت خاک با آهک وسیمان

روشهای اجرایی اضافه کردن آهک به خاک که در مرحله اول تثبیت مرکب خاکها وبه منظور کاهش خواص خمیری آنها انجام میشود. عیناً مشابه عملیات اجرایی تثبیت خاک با آهک و مراحل و عملیات اجرایی اضافه کردن سیمان به خاک اصلاح شده برای افزایش مقاومت آن عیناً مشابه عملیات اجرایی تثبیت خاک و مصالح شنی با سیمان است.

omoorepeyman.ir

۵ ـ ۳ تثبیت خاک با آهک و قیرآبه

اصولا برای آنکه تثبیت مصالح سنگی با قیر محلول بخوبی انجام شود مصالح سنگی باید عاری از خاک رس و مواد دیگری که مانع از چسبیدن قیر به دانه‌های سنگی است باشد. علاوه بر آن مصالح سنگی باید خشک باشد تا قیر بخوبی به آن بچسبد. هر اندازه اندود قیری بهتر به دانه‌ها بچسبد و بیشتر پایدار باشد استقامت و دوام مخلوط نیز بیشتر خواهد بود. وجود رطوبت در مصالح سنگی باعث می‌شود که مخلوط قیری از دوام و سختی نسبی کمتری برخوردار باشد.یکی از راهکارهای مناسب برای آنکه اندود قیری بهتر به مصالح سنگی بچسبد و از اثر منفی رطوبت بر مخلوط قیری کاسته شود شستشوی مصالح سنگی با محلول دوغاب آهک حاوی یک درصد آهک و خشک کردن متعاقب آن است.

۵-۳-۱ خاک مناسب برای تثبیت با آهک و قیرآبه

کلیه خاکهائیکه پس از اصلاح با آهک دارای دامنه خمیری کمتر از ۶ و همچنین حاصلضرب دامنه خمیری و در صد عبوری از الک شماره ۲۰۰ آنها کمتر از ۶۰ باشد برای تثبیت مرکب با آهک و قیرآبه مناسب هستند.

۵ ـ ۳-۲ طرح تثبیت خاک با آهک و قیرآبه

مقادیر مناسب و معمول آهک و قیر برای تثبیت خاکهای غیر چسبنده و یا با چسبندگی کم بین ۱ الی ۳ در صد آهک و سپس ۴ الی ۸ در صد قیر است که البته مقادیر دقیق این مواد بایستی با انجام آزمایش و بر اساس روش ASTM D3497 تعیین شود. معمولاً درصد مواد تثبیت کننده مرکب که باعث بیشترین ضریب بر جهندگی خاک می شوند بعنوان درصد بهینه انتخاب می شود. برای انجام این آزمایش ابتدا لازم است که درصد بهینه قیرآبه مشخص و سپس با این درصد قیرآبه نمونه هایی با ۱ ، ۲ و ۳ درصد آهک قیر ساخته و آزمایش شوند.

omoorepeyman.ir

۵-۳-۳ عملیات اجرایی تثبیت خاک با آهک ـ قیرآبه

روشهای اجرایی اضافه کردن آهک به خاک که در مرحله اول تثبیت مرکب خاکها با آهک ـ قیرآبه و به منظور اصلاح خواص خمیری آنها انجام می‌شود عیناً مشابه عملیات اجرایی تثبیت خاک با آهک و مراحل و عملیات اجرایی اضافه کردن قیر به خاک اصلاح شده عیناً مشابه عملیات اجرایی تثبیت خاک و مصالح شنی با قیر است.

۵-٤ تثبیت خاکها با سیمان- قیرآبه

هدف از تثبیت خاک با سیمان- قیرآبه نیز مشابه تثبیت خاک با آهک- قیرآبه، بهبود دوام و مقاومت مخلوط است، با این تفاوت که اگر سرعت، در رسیدن به مقاومت مخلوط مورد نظر باشد از سیمان استفاده می‌شود. استفاده از ۱ الی ۲ درصد سیمان به همراه ۴ الی ۸ درصد قیرآبه برای تثبیت مصالح سنگی لایه‌های اساس و یا زیراساس روسازیها باعث می‌شود که در مدت زمان کمتر مقاومت مصالح تثبیت شده با سیمان-قیرآبه بیشتر از مقاومت مصالح تثبیت شده با آهک- قیرآبه باشد. تعیین درصد سیمان لازم برای تثبیت خاکها با سیمان- قیرآبه عینا مشابه تعیین درصد آهک در تثبیت خاکها با آهک- قیرآبه است.

omoorepeyman.ir

پیوست شماره یک

آزمایش‌ها و استانداردهای مربوط به تثبیت خاک و مصالح سنگی

آزمایش / استاندارد	هدف از آزمایش و توضیحات
ASTM-C5	ویژگی‌های انواع مختلف آهک زنده برای استفاده به عنوان مصالح بنایی.
ASTM-C51	تعاریف و اسامی اصطلاحات مربوط به سنگ آهک و آهک.
ASTM-D59 AASHTO-T135	بررسی ویژگی‌ها و رفتار مخلوط خاک – سیمان در مقابل چرخه های پی در پی تر و خشک شدن. تعیین میزان تلفات در مخلوط، تعیین تغییرات در رطوبت و حجم (swell & shrinkage) نمونه های سخت شده تحت تأثیر چرخه های تر و خشک شدن.
ASTM-C110	آزمایش‌های فیزیکی آهک زنده، آهک هیدراته و سنگ آهک.
ASTM-C207	ویژگی‌های آهک هیدراته برای مصارف بنایی.
ASTM-D558	تعیین روابط رطوبت نسبی- وزن مخصوص مخلوط های متراکم شدهٔ خاک – سیمان.
ASTM-D560	بررسی ویژگی‌ها و رفتار مخلوط خاک – سیمان و تعیین میزان تلفات در مخلوط در مقابل چرخه های پی در پی یخبندان – ذوب.
ASTM-C593	ویژگی‌های خاکستر بادی سنگ و دیگر مواد پوزولانی مصنوعی و طبیعی برای به کار بردن با آهک.
ASTM-D806	تعیین درصد سیمان به کار رفته در مخلوط های خاک – سیمان با انجام تست‌های شیمیایی بر روی نمونهٔ سخت شده.
ASTM-C821	ویژگی‌های انواع آهک آبدیده و مشتقات آهک برای استفاده با مواد پوزولانی.
ASTM-C977 AASHTO-M216	ویژگی‌های آهک زنده و آهک هیدراته برای تثبیت خاک.
ASTM-D1632	تهیه و عمل آوردن نمونه های خاک – سیمان برای آزمایش‌های فشاری و خمشی.
ASTM-D1633	تعیین مقاومت فشاری مخلوطهای خاک- سیمان با استفاده از نمونه های استوانه‌ای شکل.
ASTM-D1634	تعیین مقاومت فشاری خاک – سیمان با استفاده از قطعات تیر شکسته شده در آزمایش تعیین مقاومت خمشی.

omoorepeyman.ir

آزمایش / استاندارد	هدف از آزمایش و توضیحات
ASTM-D3668	تعیین نسبت باربری مخلوط خاک – آهک متراکم شده در آزمایشگاه در مقایسه با باربری یک خاک استاندارد.
ASTM-D3877	مطالعهٔ انبساط – انقباض و فشار بالا جهشی (uplift) در مخلوط متراکم شدهٔ خاک – آهک، جهت تعیین درصد مناسب آهک.
ASTM-D4223	روش تهیهٔ نمونه های استوانه ای (4 اینچ قطر، 2.5 اینچ طول) از خاک تثبیت شده با قیر محلول و امولسیون قیر.
ASTM-D4609	ارزیابی و انتخاب مواد شیمیایی مناسب جهت تثبیت خاک ریز دانه بر اساس مقاومت فشاری، تأثیر رطوبت، وزن مخصوص و دما.
ASTM-D4647	تشخیص و گروه بندی خاک های واگرا با انجام آزمایش pinhole.
ASTM-D4829	تعیین شاخص تورم – پذیری خاک متراکم شده با مستغرق نمودن نمونه در آب مقطر.
ASTM-D4832	روش تهیه و به عمل آوردن و تعیین مقاومت فشاری نمونهٔ ساخته شده از مخلوط رقیق خاک – سیمان.
ASTM-D5102	روش تهیه، عمل آوردن، و تعیین مقاومت فشاری تک محوری نمونهٔ متراکم شدهٔ خاک تثبیت شده با آهک.
ASTM-D5102 AASHTO-T220	روش تهیه و به عمل آوردن ؛ تهیهٔ نمونهٔ استوانه ای شکل و تعیین مقاومت فشاری تک محوری نمونه های آزمایشگاهی مخلوط خاک و آهک، تعیین روابط وزن مخصوص، رطوبت نسبی، رطوبت بهینه، و ماکزیمم دانسیته برای تراکم مخلوط های خاک.
AASHTO-T134	تعیین رابطهٔ بین درصد رطوبت و وزن مخصوص نمونهٔ متراکم شدهٔ مخلوط خاک – سیمان قبل از سخت شدن.
AASHTO-T136	تعیین تغییرات در رطوبت و حجم (swell & shrinkage) نمونه های سخت شده تحت تأثیر چرخه های یخبندان – ذوب.

omoorepeyman.ir

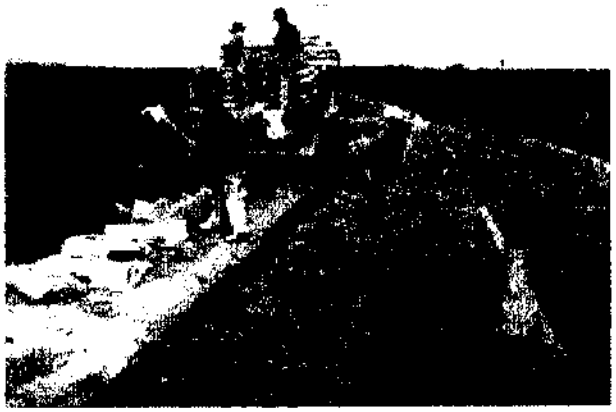
آزمایش / استاندارد	هدف از آزمایش و توضیحات
AASHTO-T218	روش نمونه برداری از آهک آبدیده از منابع مختلف.
AASHTO-T219	تعیین ترکیب شیمیایی و دانه بندی آهک آبدیده.
AASHTO-T232	تعیین درصد آهک به کار رفته در نمونه های خاک تثبیت شده با آهک به روش شیمیایی (titration).
AASHTO-T258	شناسایی خاک های تورم پذیر و روش های تخمین میزان تورم.
ASTM-D3551	روش تهیهٔ مخلوط خاک – آهک با استفاده از مخلوط کن مکانیکی.
ASTM-D3155	تعیین درصد آهک به کار رفته در مخلوط خاک – سیمان تازه عمل نیامده.
ASTM-D2910	تعیین درصد سیمان به کار رفته در مخلوط های تازهٔ خاک – سیمان به طریق شیمیایی.
ASTM-D1635	تعیین مقاومت خمشی مخلوط های خاک – سیمان به طریق بارگذاری سه نقطه‌ای (third-point loading).

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

پیوست شماره دو

تصاویر ماشین‌آلات تثبیت خاک با آهک



شکل(پ- ۱): پخش آهک خشک کیسه‌ای به صورت دستی

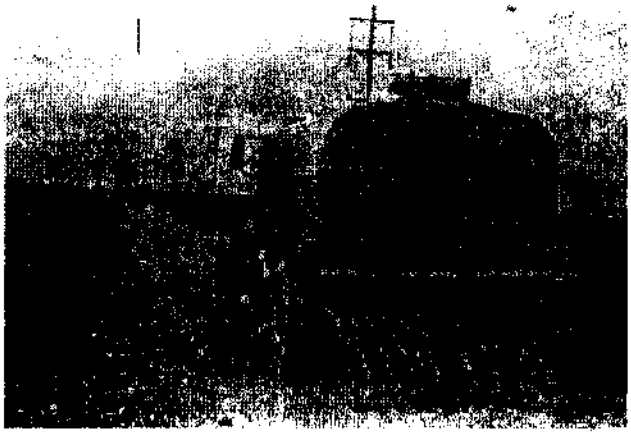
شکل (پ -۲): پخش آهک خشک با ماشین مجهز به سیستم هوای فشرده و هم‌زن مکانیکی

omoorepeyman.ir

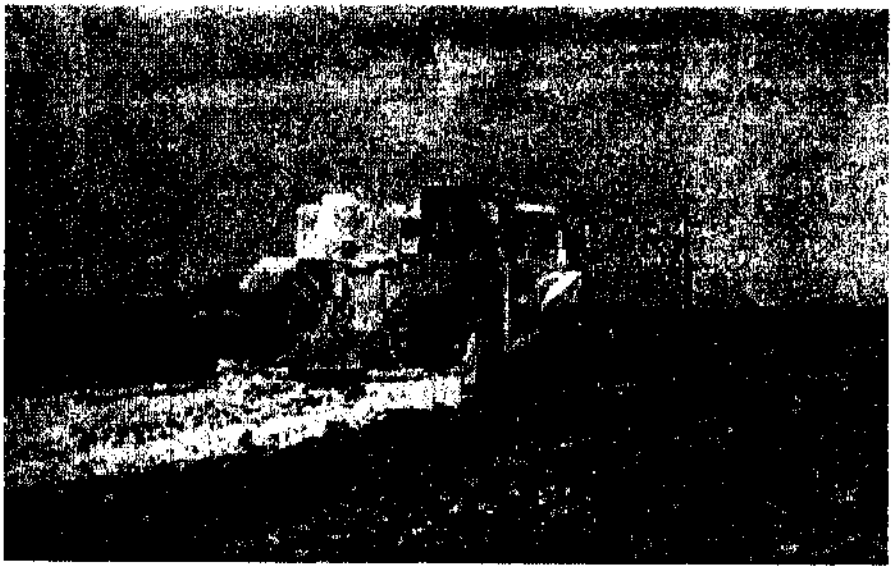
شکل (پ -۳): پخش آهک زنده با ماشین مجهز به جعبه پخش آهک

شکل (پ -۴): پخش آهک زنده با ماشین کمپرسی

omoorepeyman.ir



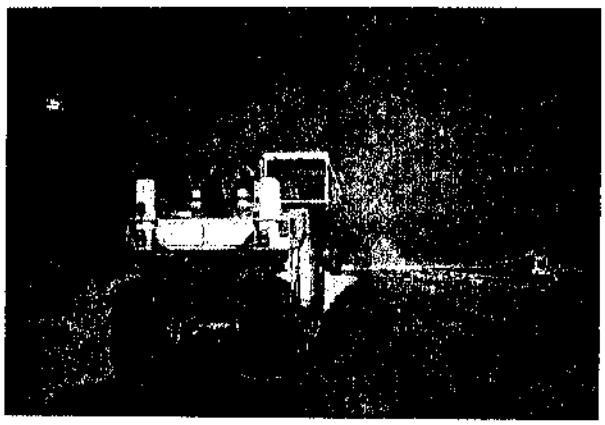
شکل (پ -۵): پخش دوغاب آهک با تانکر مجهز به هم‌زن مکانیکی



شکل (پ -۶): پخش دوغاب آهک با ماشین مجهز به تلمبه مدار بسته

omoorepeyman.ir

شکل (پ -۷): اختلاط خاک و آهک با شخم‌زن دیسک‌دار



شکل (پ-۸): اختلاط خاک و آهک با مخلوط‌کن دوار

omoorepeyman.ir

شکل (پ -۹): آبپاشی برای عمل آوردن خاک بستر تثبیت شده با آهک

امور پیمان
omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

مراجع :

1. Little . D.N. , Thompson . R.L. , Terrell . R.L. , Epps . J.L. , Borenberg . E.J. , " Soil Stabilization For Roadways and Airfields " , AFESC Final Report , U.S.A , 1987.

۲. امیر محمد طباطبایی، " روسازی راه " مرکز نشر دانشگاهی، چاپ نهم، ۱۳۷۹.

3. "Unsealed Roads Manual , Guidelines to Good Practice", stralian Road Research Board Limited . , 1993.

۴. بدیع‌اله روشندل، "بررسی روشهای مختلف تثبیت خاک و مصالح سنگی روسازی راه "، ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، شماره ۸۳ ، ۱۳۷۸.

5. Hausmann, M.R. , " Engineering Principles of Ground Modification ", McGraw-Hill. Book. Inc., 1990.
6. Sowers, G.F. , "Introductory soil mechanics and foundations : Geotechnical engineering" , Mcmillan Pub. Co. Inc. 1979.
7. Das . B.M. , " Advanced Soil Mechanics " , Mc Graw-Hill Int . Ed. ,1994.
8. Mc Carthy . D.F. , " Essential of Soil Mechanic and Foundations" , Reston Pub. Co. inc.
9. Das . B.M. , "Principles of Geotechnical Engineering " , Fourth Edition , PWS , 1998.
10. "Pavement Design and Rehabilitation Manual " , Published by The Highway Eng. Div. Of Ministry of Trans. of Canada , 1990.
11. Wright . P.H. , " Highway Engineering " , 6Th. Ed. , John Wiley & Sons. Inc. , 1996.
12. AASHTO Reference
13. Chen , F.H. ," Soil Engineering" , CRC Press LLC , 2000
14. Smith , G.N. , "Elements of soil mechanics" , Sixth Edition , Black well science , 1995.

omoorepeyman.ir

15. " Lime Stabilization" State of The Art ,report 5 , Transportation Research Borde, TRB , 1987.
16. Sherwood . P.T. , " Soil Stabilization With Cement and Lime " , State of The Art Review . , TRL , Dept. of Trans. , 1995.
17. Epps . J.A. , Dunlap . W.A. , Gallaway . B.M. , " Soil Stabilization : A Mission Oriented Approach " , HRB. , NRC. No. 351 , HRB , 1971.
18. Nelson. J.D. , Miller . D.J. , " Expansive Soils : Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering ",John Wiley & Sons. inc. 1992.
19. Qubin . B.S. , Seksinsky . E.J. , Li . J. , " Incorporating Subgrade Lime Stabilization into Pavement Design " , Journal of Trans. Rasearch Record . , No. 1721, TRB , 2000.
20. Yoder . E.J. , Witczak . W.M. , " Principles of Pavement Design ". , John Wiley & Sons . inc. 2nd . ED. 1975.
۲۱. "پیش نویس آئین نامه طرح روسازی راههای ایران"، مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری ۱۳۷۵
22. Atkins. H.N. , "Highway materials , soils , and concretes , third edition" , 1997
23. Rollings . M.P. and Rollings. M.P. ,"Geotechnical materials in construction" , McGraw Hill book co. , 1996.
24. Bell. F.G. "Engineering Treatment of soil" E&FN. SPON,1993
25. Croney . D. ,Croney . P. "Design and performance of road pavement" 3rd. Ed. , McGraw Hill book co. ,1998
26. "ACI Manual of concrete practice" Part 1, Materials and General properties of concrete ,1998
۲۷. "مشخصات فنی عمومی راه"، نشریه شماره ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور فنی، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی ۱۳۷۵
28. Malhotra, V.M. , Ramezanianpour, A.A. "Fly ash in concrete" , 2nd. Ed. , CANMET , 1994
29. Little, D.N. , Males, E. , Pursininski, J.R. , Stewart, B. "Cementitious stabilization" , TRR , A2J01 , 2001

omoorepeyman.ir

30. "Stabilization characteristics of clays using class C fly ash ", TRR, NO.1611 , 1998.

۳۱. اسماعیل پور، اسماعیل، "ساخت، حمل و نقل و نگهداری قیرهای امولسیون" مجموعه مقالات اولین سمینار تخصصی امولسیون قیر ، مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری، ۱۳۷۶

۳۲. سرائی پور، محمد "آسفالت" چاپ چهارم ، کتاب فروشی دهخدا ، ۱۳۷۷

33. Franken, L. , "Bituminous Binders and Mixes" , State of the art , Report of RILEM , Technical committee 152-PBM , 1998.

34. The Asphalt Institute Manual Series 14 , 1990.

35. Kota, P.B.V.S. , Hazlett, D. , Perrin, L. "Sulfate-bearing soils ; problems with calcium-based stabilizers" TRR NO.1546 , 1996

36. Puppala, A.J. , Mohammad, L.N. , Allen, A. "Engineering behavior of lime-treated louisiana subgrade soil" , TRR NO.1546 , 1996

37. Little, D.N. " Assessment in situ structural properties of lime-stabilized clay subgrades" , TRR NO.1546 , 1996

38. Woodbridge, M.E. "Use of soft lime stone for road-base construction in belize" , TRR NO.1652 , 1999

39. Mathew, P.K. , Narasimharoa, S. "Effect of lime on cation exchange capacity of marine clay" , journal of geotechnical and geoenvironmental engineering , ASCE, vol.123, no.2, 1997

40. Achompong, F. ,Usmen, M. , Kagawa, T. "Evaluation of resilient modulus for lime-and cement-stabilized synthetic cohesive soils" , TRR NO.1589 , 1997

41. Osinubi, K.J. "Permeability of lime-treated lateritic soils" journal of transportation engineering ,ASCE, vol.124 no.5 , 1998

42. Osinubi, K.J. "Influence of compactive efforts and compaction delays on lime-treated soil" , journal of transportation engineering ,ASCE, vol.124 no.2 , 1998

43. Prusinski, J.R. , Bhattacharja, S. "Effectiveness of portland cement and lime in stabilizing clay soils" , TRR NO.1652 , 1999

omoorepeyman.ir

44. Rogers, C.D.F. , Glendinning, S. " Lime requirment for stabilization" , TRR NO.1721 , 2000

45. Cabrera, J. , Rojas, M.F. "Mechanism of hydration of metakaolin-lime-water system" , cement and concrete research , no.2 , 2001

46. Bredenkamp, S. " Sulfate-induced heave in lime stabilized soil" , M.S.Thesis texas A&M university colleg station , Dec, 1994

47. Azam, S. , Abduljauwad, S.N. "Influence of gypsification on engineering behavior of expansive soil" , journal of geotechnical and geoenvironmental engineering , ASCE, vol.126 , no.6 , 2000

۴۸. احمد حامی، "مصالح ساختمانی"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ نهم، ۱۳۷۶

49. Hunter, d. "Lime-induced heave in sulfate-bearing clay soils", journal of geotechnical engineering , ASCE, vol.114, no.2 , 1988

50. Ferris, G.A. , Eades, J.L. , Graves, R.E. , Mcclellan, G.H. "Improved characteristics in sulfate soils treated with barium compounds before lime stabilization" ,TRR NO.1295 , 1991

51. Basma, A.A. ,Tuncer, E.R. " Effect of lime on volume change and compressibility of expansive clays" , TRR NO.1295 , 1991

52. Petry, T.M. , Little, D.N. "Update on sulfate-induced heave in treated clays ; problematic sulfate levels" , TRR NO.1362 , 1992

53. Hicholson, P.G. , Kashyap, V. , Fujii, C.F. " Lime and fly ash admixture improvement of tropical hawaiian soils" , TRR NO.1440 , 1994

54. Rogers, C.D.F. , Lee, S.J. "Drained shear strength of lime-clay mixes" , TRR NO.1440 , 1994.

۵۵. بهبهانی، حمید و همکاران، "مهندسی ترافیک، تئوری و کاربرد"، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران، ۱۳۷۴

56. " Foamed Asphalt " , World Highways , April 2001

57. AASHTO-AGC-ARTBA Joint Committee , Task Force 38 Report , part on " Cold Recycling of Asphalt Pavements " , March 1998.

58. " Use of Coal Ash in Highway Construction : Michigan Demonstration Project " , Research Project 2422-7 , Final Report , October 1992.

omoorepeyman.ir

59. R.M. Koerner " Designing with Geosynthetics " , 1994
60. R.M. Koerner " Emerging and Future Development of Selected Geosynthetic Application " , Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering , ASCE, vol.126 , no.6 , 2000
61. Gerard " Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering " , P.T.M. Van Santvoort, 1994

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی ، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود ، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی – فنی ، در قالب **آیین‌نامه** ، **ضابطه** ، **معیار** ، **دستورالعمل** ، **مشخصات فنی عمومی و مقاله** ، بصورت تألیف و ترجمه تهیه و ابلاغ کرده است . نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی بکار برده شود . به این لحاظ برای آشنایی بیشتر ، فهرست عناوین نشریاتی که طی دو سال اخیر به چاپ رسیده است باطلاع استفاده‌کنندگان و دانش‌پژوهان محترم رسانده می‌شود .

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی www.mporg.ir/fanni/s.htm مراجعه نمائید

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

omoorepeyman.ir

عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار چاپ		نوع دستورالعمل	ملاحظات
		اول	آخر		
فهرست خدمات مطالعات مرحله شناسایی منابع آب زیرزمینی	۲۱۲	۱۳۸۰		۲	
فهرست خدمات مطالعات مرحله نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی	۲۱۳	۱۳۸۰		۲	
راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری گوره‌ها	۲۱۴	۱۳۸۰		۳	
مبانی محاسبات اقتصادی طرحهای توسعه منابع آب	۲۱۵	۱۳۸۰		۳	
راهنمای بازرسی در سدهای بزرگ	۲۱۶	۱۳۸۰		۳	
خاکچالهای زباله شهری	۲۱۷	۱۳۸۰		۳	
نقشه‌های همسان مجاری آب بر زیرزمینی بتنی	۲۱۸	۱۳۸۰		۳	
برنامه‌ریزی و مطالعات بهینه‌سازی طرح‌های توسعه منابع آب	۲۱۹	۱۳۸۰		۳	
تعیین بار بستر به روش مایر – پیترومولر (در مطالعات رسوب)	۲۲۰	۱۳۸۰		۳	
تعیین حجم رسوبات و توزیع آن در مخازن سدها	۲۲۱	۱۳۸۰		۳	
برنامه‌ریزی آزمایشهای رسوب	۲۲۲	۱۳۸۰		۳	
دستورالعمل آزمایشهای پرسیومتری (در مطالعات ژئوتکنیک)	۲۲۳	۱۳۸۰		۳	
دستورالعمل آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) در مطالعات ژئوتکنیک	۲۲۴	۱۳۸۰		۳	
فهرست جزئیات مطالعات زمین‌شناسی مهندسی مرحله‌های شناسایی و توجیهی در طرحهای سازه‌های آبی (سدسازی)	۲۲۵	۱۳۸۰		۳	
فهرست خدمات مرحله اجرای طرحهای مهندسی رودخانه	۲۲۶	۱۳۸۰		۳	
دستورالعمل ارزیابی زیست‌محیطی طرحهای مهندسی رودخانه (مراحل شناسایی، توجیهی، تفصیلی)	۲۲۷	۱۳۸۰		۳	
آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی ایران	۲۲۸	۱۳۸۰		۳	
بررسی پتانسیل لغزش در محدوده سدها و سازه های وابسته	۲۲۹	۱۳۸۰		۳	
ضوابط ساختمانهای دادگستری کشور (برنامه‌ریزی معماری همسان، شعبات شهرستان و بخش)	۲۳۰	۱۳۸۰			

omoorepeyman.ir

عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار چاپ		نوع دستورالعمل	ملاحظات
		اول	آخر		
ضوابط ساختمانهای ثبت احوال کشور(برنامه‌ریزی معماری همسان، شعبات شهرستان و بخش)	۲۳۱				
ضوابط طراحی ساختمانهای آموزشی ، برنامه‌ریزی معماری همسان (ابتدایی و راهنمایی)	۲۳۲			۱	
آیین‌نامه کاربری اراضی اطراف فرودگاه‌ها	۲۳۳	۱۳۸۱		۱	
آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه های ایران	۲۳۴			۱	
ضوابط و معیارهای طراحی و اجرای سیلو در ایران (جلداول) ضوابط و معیارهای طراحی و اجرای سیلو درایران(جلد دوم) ضوابط و معیارهای طراحی و اجرای سیلو درایران(جلد سوم)	۲۳۵	۱۳۸۲ ۱۳۸۱		۱-۲۳۵ نوع۳ ۲-۲۳۵ نوع۳	
فهرست‌خدمات‌مطالعات‌طرح‌های‌تغذیه‌مصنوعی (مرحله‌شناسایی- مرحله توجیهی- مرحله تفصیلی)	۲۳۶	۱۳۸۰		۳	
راهنمای بهره‌برداری و نگهداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری (تصفیه‌مقدماتی)	۲۳۷	۱۳۸۰		۳	
فهرست‌خدمات‌مطالعات‌ژئوتکنیک‌وبرآوردخطرزمین‌لرزه وزلزله‌شناسی‌مهندسی (مرحله‌طراحی‌تفصیلی)	۲۳۸	۱۳۸۰		۳	
دستور العمل آماربرداری از منابع آب (بخش اول- اندازه‌گیری پدیده‌های هواشناسی، بخش دوم- برگ‌های شناسایی و آمار)	۲۳۹	۱۳۸۰		۳	
راهنمای برگزاری مسابقات معماری و شهرسازی در ایران	۲۴۰	۱۳۸۱		۳	
راهنمای نشت‌یابی و جلوگیری از تلفات آب در تاسیسات آبرسانی شهری	۲۴۱	۱۳۸۰		۳	
راهنمای مهار سیلاب رودخانه (روش‌های سازه‌ای)	۲۴۲	۱۳۸۰		۳	
دستورالعمل اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک با روش استوانه	۲۴۳	۱۳۸۰		۳	
شرح خدمات مهندسی مطالعات مرحله دوم شبکه‌های فرعی آبیاری و زهکشی (ثقلی)	۲۴۴	۱۳۸۰		۱	
ضوابط طراحی سینما	۲۴۵	۱۳۸۱		۳	

omoorepeyman.ir

عنوان نشریه	شماره نشریه	تاریخ انتشار چاپ		نوع دستورالعمل	ملاحظات
		اول	آخر		
فهرست جزئیات خدمات مطالعات تاسیساتآبگیری (مرحله های شناسائی ، اول و دوم ایستگاههای پمپاژ)	۲۶۲	۱۳۸۲		۲	
فهرست جزئیات خدمات مهندسی مطالعات تاسیسات آبگیری (سردخانه سازی)	۲۶۳	۱۳۸۲		۲	
آیین نامه اتصالات سازه های فولادی ایران	۲۶۴	۱۳۸۲		۱	
برپایی آزمایشگاه آب	۲۶۵	۱۳۸۲		۳	
۱- دستورالعمل تعیین اسید یته و قلیائیت آب ۲- دستورالعمل تعیین نیتروژن آب	۲۶۶	۱۳۸۲		۳	
آیین‌نامه ایمنی راه‌های کشور ایمنی راه و حریم (جلد اول) ایمنی ابنیه فنی (جلد دوم) ایمنی علائم (جلد سوم) تجهیزات ایمنی راه (جلد چهارم) تأسیسات ایمنی راه (جلد پنجم) ایمنی بهره‌برداری (جلد ششم) ایمنی در عملیات اجرایی (جلد هفتم)	۲۶۷				
دستورالعمل تثبیت لایه‌های خاکریز	۲۶۸			۳	
راهنمای آزمایش‌های دانه‌بندی رسوب	۲۶۹			۳	
معیارهای برنامه‌ریزی و طراحی کتابخانه‌های عمومی کشور	۲۷۰			۱	
شرایط طراحی (DESIGN CONDITIONS) برای محاسبات تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع مخصوص تعدادی از شهرهای کشور	۲۷۱				

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran

Instruction Manual
For
Stabilziation and Construction of Embankment, Subgrade and Pavement Layers
With
Stabilized Mixture

No : 268

Management and Planning Organization
Office of the Deputy for Technical Affairs
Bureau of Technical Criteria and Specification

Ministry of Roads and Transportation
Deputy of Training, Research and Information Technology
Research and Training Center

1382/2003

omoorepeyman.ir