بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

محضر مقدس و پر مهر حضرت امیرالمومنین (علیه السلام)

و پدر بزرگوار و مادر آبی تر از آسمانم به پاس مهربانی ها و روشنایی هایی که به زندگیم داده اند و همسر فداکارم که با صبر و بردباری خویش مرا در این راه یاری نمود.

تقدیر و تشکر:

خدا را سپاس می گویم که به من توفیق داد تا در این راه گام بردارم و مهربی پایانش را به این بنده ارزانی داشت.

ابتدا بر خود لازم می دانم که از زحمات استادان ارجمند که در دوران تحصیل از محضرشان کسب فیض کردم به ویژه

استاد راهنما: جناب آقای دکتر جواد طباطبایی یزدی

و استاد مشاور: جناب آقای دکتر مهران اصفهانی زاده

و داور گرامی: جناب آقای دکتر خرقانی

که در تمام مراحل این رساله با صبر و حوصله اینجانب را صمیمانه راهنمایی نموده اند؛ کمال تشکر و سپاسگذاری را داشته باشم و توفیق روز افزون آن را از خداوند متعال خواستارم.

در پایان از کلیه دست اندرکاران اداره کل آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان خراسان رضوی کمال تشکر را دارم.

تعهدنامه

اینجانب شهاب‌الدین یار احمدی تعهد می‌نمایم تمام مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار عملی در آزمایشگاه بوده و تمام مطالب متفرقه که در این پایان نامه آورده شده است با ذکر منبع درج گردیده است.

فهرست مطالب:

چکیده :..... ۱

فصل اول : مقدمه : ۲

۱ـ۱ تعریف تثبیت ۳

۱ـ۲ اهداف تثبیت ۴

۱ـ۳ تثبیت خاک و مصالح دانه ای با آهک ۶

۱ـ۴خاک مناسب برای تثبیت با آهک..... ۷

۱ـ۵ طرح تثبیت خاک با آهک..... ۷

۱ـ۶ تعیین درصد آهک مناسب ۱۰

۱-۷ مروری بر واکنش های بین آهک و خاک رس ۱۲

۱-۸واکنش های آنی : ۱۲

۱-۹واکنشهای دراز مدت : ۱۳

۱-۱۰ مراحل تثبیت ۱۵

۱-۱۱واکنش های شیمیایی ناشی از عملیات تثبیت خاک به وسیله آهک ۱۶

فصل دوم : مرور منابع ۱۸

۲-۱تأثیر آهک بر روی PH خاک ۱۹

۲-۲تأثیر آهک بر روی پلاستیسیته خاکهای رسی..... ۲۲

۲-۳تأثیر آهک بر روی تراکم پذیری خاکهای رسی ۲۴

۲-۴تأثیر آهک بر روی مقاومت فشاری خاکهای رسی ۲۷

۲-۵شفته آهکی : ۳۲

۲-۶بررسی نفوذ پذیری خاکهای رسی تثبیت شده با آهک ۴۰

۲-۷تاثیر خاکستر بادی و آهک بر روی نفوذ پذیری خاک های رسی : ۴۳

۲-۸تأثیر خاکستر بادی به همراه آهک بر روی نفوذ پذیری خاک های رسی : ۴۴

۲-۹ تأثیر آهک، سیمان و روغن دیزل بر روی نفوذ پذیری خاک ۴۷

فصل سوم : گزارش و انجام آزمایشات ۴۹
۱-۳مشخصات خاک مورد آزمایش : ۵۰
۲-۳دستور العمل ۵۳
۳-۳آزمایش مقاومت فشاری: ۵۶
۴-۳آزمایش نفوذ پذیری: ۶۱
۵-۳شرح آزمایش : ۶۱
فصل چهارم : بحث و نتیجه گیری ٦٧
بحث و نتیجه گیری ۶۸
منابع : ۷۱

فهرست جداول :

جدول ۱- مشخصات مهندسی دو خاک ۱۹

جدول ۲ – نتایج آزمایشات PH..... ۲۰

جدول ۳- مشخصات خاک رس ۲۱

جدول ۴- مشخصات مهندسی خاک ماسه رس دار..... ۴۵

جدول۵ – تأثیر سیمان و روغن دیزل بر روی نفوذ پذیری ماسه رس دار ۴۸

جدول ۶- تأثیر آهک وسیمان و روغن دیزل بر روی نفود پذیری ماسه رس دار ۴۸

جدول ۷ : مشخصات مهندسی خاک مورد آزمایش..... ۵۰

جدول ۸- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری ۵۷

جدول ۹- نتایج آزمایش نفوذ پذیری ۶۳

فهرست نمودار

نمودار ۱- نمودار PH بر حسب درصد آهک ۲۲

نمودار ۲ – نمودار حد روانی وحد پلاستیک بر حسب درصد آهک ۲۳

نمودار ۳- نمودار تغییر شکل بر حسب تنش عمودی برای خاک شماره ۱ ..... ۲۴

نمودار ۴ – نمودار تغییر شکل بر حسب تنش عمودی برای خاک شماره ۲ ..... ۲۵

نمودار ۵- نمودار نسبت تخلخل بر حسب تنش عمودی در ازای درصدهای مختلف آهک ۲۷

نمودار ۶ – نمودار مقاومت فشاری بر حسب گذشت زمان در ازای درصدهای مختلف آهک ۲۸

نمودار ۶-۱ نمودار مقاومت فشاری بر حسب درصد آهک برای خاک رس A ۲۹

نمودار ۶-۲ نمودار مقاومت فشاری بر حسب درصد آهک برای خاک رس B ۳۰

نمودار ۶-۳ نمودار مقاومت فشاری بر حسب درصد آهک برای خاک رس C ۳۱

نمودار ۷- نمودار ضریب نفوذ پذیری بر حسب درصد آهک برای خاک رس ۱ ..... ۴۱

نمودار۸ – نمودار ضریب نفوذ پذیری بر حسب درصد آهک برای خاک ۲ ..... ۴۲

نمودار ۹- نمودار ضریب نفوذ پذیری بر حسب نسبت تخلخل ۴۳

نمودار ۱۰ : ضریب نفوذ پذیری بر حسب درصد مخلوط آهک و خاکستر بادی ۴۶

نمودار ۱۱- نمودار مقاومت فشاری تک محوری بر حسب درصد آهک ۵۷

فهرست اشکال

شکل ۱ – منحنی دانه بندی خاک مورد آزمایش ۵۱

شکل ۲- نتایج آزمایشات شیمی خاک ۵۲

شکل ۳- مراحل انجام آزمایش مقاومت فشاری تک محوری..... ۵۵

شکل ۴- انجام عملیات تراکم بر روی نمونه خاک ماسه لایه دار جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری . ۵۸

شکل ۵- نمونه بدون آهک که به اندازه رطوبت بهینه (۱۴درصد) به آن آب اضافه شده است. ۵۸

شکل ۶- نمونه های قرار گرفته در داخل اوون جهت به عمل آمدن به مدت ۴۸ ساعت ۵۹

و دمای ۵۰درصد سیلیسیوس ۵۹

شکل ۷- نمونه بدون آهک که تحت آزمایش مقاومت فشاری تک محوری گسیخته گردیده است ۵۹

شکل ۸- نمونه حاوی ۳درصد آهک که تحت آزمایش مقاومت فشاری تک محوری گسیخته گردیده است . ۶۰

شکل ۹- انجام آزمایش مقاومت فشاری تک محوری ۶۰

شکل ۱۱- نمونه های قرار گرفته در داخل قالب نفوذ پذیری ۶۴

شکل ۱۳- انجام آزمایش نفوذ پذیری به روش بار افتان ۶۵

نمودار ۱۲- نفوذ پذیری بر حسب درصد آهک..... ۶۶

چکیده :

در این تحقیق تاثیر آهک بر روی مقاومت فشاری تک محوری و نفوذپذیری یک نوع خاک رس دار مورد بررسی قرار گرفت .

خاک مورد نظر ماسه لای دار می باشد که حاوی ۸٪ ذرات رس می باشد. در آزمایش مقاومت فشاری تک محوری مطابق دستورالعمل تثبیت لایه های خاکریز درصدهای مختلف آهک (۱۰ ، ۷، ۵، ۳، ۰) به نمونه خاک اضافه شد و پس از به عمل آوری نمونه‌ها (۴۸ ساعت در اوون با دمای $۵۰^{o}C$) آزمایش مقاومت فشاری تک محوری بر روی نمونه ها انجام شد و در انتها نمودار مقاومت فشاری تک محوری بر حسب درصدآهک رسم گردید. نتایج نشان می دهد که مقاومت فشاری تک محوری در نمونه بدون آهک از $۳/۸۲ \, kg/cm^2$ تا $۲۰/۸۵ \, kg/cm^2$ به ازای افزایش ۱۰٪ آهک افزایش پیدا کرده است.

ضمناً آزمایش مقاومت فشاری نشان داد که به ازای اضافه شدن ۳٪ ، ۵٪ ، ۷٪ آهک افزایش مقاومت در نمونه های تثبیت شده نسبت به نمونه بدون آهک بیش از $۳/۵ \, kg/cm^2$ بوده است و بنابراین طبق دستورالعمل تثبیت از لایه های خاکریز این خاک برای عملیات تثبیت متناسب است. درصد بهینه آهک جهت رسیدن به مقاومت فشاری بهینه ۸٪ تعیین شد.

آزمایش نفوذپذیری نیز به روش بار افتان بر روی نمونه ها انجام شد. در این آزمایش درصدهای مختلف آهک (۱۲ و ۸ و ۶و ۴و ۰) به نمونه اضافه شد و پس از به عمل آوری نمونه ها (۴۸ ساعت در اوون و با دمای $۵۰^{o}C$) آزمایش نفوذپذیری بر روی نمونه ها انجام گردید و در پایان نمودار ضریب نفوذپذیری بر حسب درصدآهک رسم گردید. نتایج نشان می‌دهد که ضریب نفوذپذیری در حالت بدون آهک از $4/85\times10^{-5} \, cm/s$ تا $3/65\times10^{-7} \, cm/s$ به ازای افزایش ۱۲٪ آهک کاهش پیدا کرده است به عبارت دیگر ضریب نفوذپذیری ۱۳۲ برابر کاهش از خود نشان می دهد.

فصل اول :

مقدمه

مقدمه :

خاک های رسی به طور گسترده ای در پروژه های مختلف نظیر سد ها ، بزرگ راه ها ، لایه های بنیادی و مصالح ساختمانی به کار می رود . ویژگی های مهندسی این خاک ها به طور قابل ملاحظه ای به فاکتورهایی همچون آب و هوا ، توپوگرافی ، رطوبت ، پوشش گیاهی و مواد اصلی تشکیل دهنده بستگی دارد .

(Townsend 1985) [1]. تثبیت شیمیایی مانند تثبیت با آهک یا سیمان برای بهبود و اصلاح مشخصات مهندسی خاک انجام می شود . (Townsend 1969)[3] آهک به عنوان یک تثبیت کننده موثر شناخته است .ola,s1978[2] تثبیت با آهک مقاومت خاک رس را افزایش می دهد و ویژگیهای مهندسی این خاک را برای استفاده در اساس جاده‌ها و یا استفاده به عنوان مصالح پایه اصلاح می کند (Galvao , Elsharief 2004)[5] اکثر تحقیقات انجام شده تاکنون بر روی مقاومت و پارامتر های تراکم بوده است. [20] (osinubi) 1998 ولی هدف از کاربرد آهک تنها مقاومت فشاری نیست و کاربرد آن به عنوان عایق نیز مطرح است لذا سعی داریم در این تحقیق تأثیر آهک بر روی نفوذ پذیری خاک های رسی را مورد بررسی قرار دهیم .

۱ـ۱ تعریف تثبیت:

تثبیت خاک به اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و مهندسی آن برای تأمین یک رشته اهداف از پیش تعیین شده اطلاق می شود . تثبیت خاکها به طرق گوناگون نظیر روش های مکانیکی، شیمیایی ، فیزیکی، بیولوژیک(رویاندن گیاه) و روش الکتریکی امکان پذیر است.

انتخاب روش تثبیت برای خاکها بستگی به نوع و جنس خاک و همچنین هدف از تثبیت خاک دارد. تثبیت خاک مانند هر تصمیم دیگر مهندسی بایستی از نظر فنی واقتصادی موجه باشد . کاربرد این دستورالعمل محدود به روشهای فیزیکی و شیمیایی است.

۲ـ۱ اهداف تثبیت

برخی از خاکها به علت مشخصات فنی نامطلوب و یا دارا بودن مقادیر قابل توجهی رس یا لای برای عملیات راه سازی نامرغوب محسوب می شوند. اینگونه خاکها به دلیل حساسیت ناپایدار در برابر رطوبت، مقاومت کم و تراکم پذیری مشکلات فراوانی را از نظر فنی و اقتصادی در راهسازی ایجاد می کنند. چنانچه مسیر یک راه از مناطقی که دارای خاکهای نامرغوب باشد عبور کند طرح و اجرای زیرسازی و روسازی مستلزم استفاده از لایه های با مصالح متفاوت و ضخیم خواهد بود. این امر باعث مصرف مقادیر قابل توجهی مصالح، افزایش هزینه های عملیاتی و طولانی شدن زمان اجرای پروژه می شود. زمان اجرای پروژه می شود . در این موارد اغلب اقدام به تغییر مسیر راه یا تعویض خاک می گردد. هر گاه به عللی امکان تغییر مسیر راه و یا تعویض خاک نباشد و یا اینکه هزینه تعویض خاک مقرون به صرفه نباشد باید روش اصلاح و بهبود خاک مورد بررسی قرار گیرد تا چنانچه از نظر اقتصادی و فنی قابل توجیه باشد به انجالم آن مبادرت گردد.

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

۱ـ استفاده موثر از قرضه های جانبی

۲ـ اصلاح خاکهای نرم و کم مقاومت

۳ـ افزایش دوام خاک

۴ـ افزایش مقاومت باربری خاک

۵ـ کاهش نفوذ پذیری خاک

۶ـ کاهش تورم و انقباض خاک

۷ـ کاهش رطوبت خاک

۸ـ کاهش دامنه خمیری خاک

۹ـ جلوگیری از فرسایش خاک

۱۰ـ کاهش ضخامت لایه های روسازی

۱۱ـ ایجاد لایه های اساس و زیر اساس با قابلیت باربری بیشتر

۱۲ـ بازسازی روسازی های فرسوده با استفاده از مصالح موجود

۱۳ـ آماده سازی محوطه ای برای اجرای آسانتر عملیات ساختمانی

۱۴ـ کاهش گرد وغبار

۱۵ـ صرفه جوئی در مصرف مصالح

۱۶ـ صرفه جوئی در مصرف انرژی

۱۷ـ تسریع در عملیات اجرائی

۳-۱تثبیت خاک و مصالح دانه ای با آهک

سالها است که از انواع مواد آهکی با درجات خلوص مختلف برای تثبیت خاکها ومصالح دانه ای استفاده می شود. آهک انواع مختلف دارد که متداولترین آنها عبارتند از :

الف) آهک زنده Calcit quick lime (CaO)

ب) آهک شکفته Hydrated lime (Ca(OH)2)

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

د) آهک شکفته دولومیتی Dolomitic hydrated lime (Mg(OH)2

آهک زنده ماده ای است با رنگ متمایل به سفید که درجه ذوب آن بین ۲۵۸۰ تا ۲۷۵۰ درجه سانتیگراد متغیر است. وزن مخصوص آهک زنده بین ۳/۱ تا ۳/۳ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد. این نوع آهک با آب به شدت واکنش داشته و علاوه بر آنکه تولید حرارت می کند تبدیل به آهک شکفته می شود. آهک شکفته ایکه به این صورت بدست می آید به آهک مرده موسوم است که به صورت پودر است.

آهک زنده در مقایسه با آهک شکفته تغییر حجم بیشتری دارد . بطور متوسط تغییر حجم آهک زنده نسبت به آهک شکفته ۲/۵ تا ۳ برابر بیشتر است. تبدیل آهک زنده به آهک شکفته همراه با تغییر در وزن مخصوص آن انجام می شود، بطوریکه پس از شکفته شدن وزن مخصوص آن به حدود ۲/۲ تا ۲/۴ گرم بر سانتیمتر مکعب کاهش می یابد. آهک شکفته با بیشتر شدن مقدار آب تغییر حالت داده و از حالت جامد به خمیری وازخمیری به مایع (دوغاب آهک) تبدیل می شود. 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 ساده تر بوده و به راحتی انبار و نگهداری می شود .

بطور کلی آهک زنده ماده تثبیت کننده موثرتری نسبت به آهک شکفته است و اگر به صورت دو غاب به خاک اضافه شود ، مقاومت بیشتری را نسبت به موقعیکه بصورت پودر اضافه می شود، ایجاد می کند.

تثبیت خاک با آهک سبب بهبود کیفیت و مشخصات فنی خاک و تسریع در انجام عملیات راهسازی می شود. تجربه نشان داده است که افزودن آهک بـه خاکهـای ریزدانـه مرطـوب موجب بروز چندین واکنش شیمیایی بین خاک و آهک می شود و باعث می گردد که مخلوط تولید شده دارای مقاومت باربری بیشتر، قابلیت تراکم و جابجایی بهتـر، درصـد انقبـاض و خاصیت خمیری کمتری نسبت به خاک طبیعی اولیه باشد. آهک مصرفی باید با مشخصـات M216 مطابقت داشته باشد.

۴ـ۱خاک مناسب برای تثبیت با آهک

آهک اصولاً برای تثبیت خاکهای ریز دانه که دامنه خمیری آنها بزرگتر از ۱۰ و خاکهـای رسی خیلی خمیری(PI>35) مناسب است. آهک برای تثبیت خاکهائی که حاوی مقدار بـیش از دو درصد مواد آلی و همچنین حاوی مقدار بیش از نیم درصد سولفات قابـل حـل در آب می باشند مناسب نیست. وجود مواد آلی در خاک باعث جلوگیری از افزایش PH خاک مـی شود. آزمایشات انجام شـده بـر روی خاکهـای آلـی نشـان داده اسـت کـه اگـر بـه انـدازه ۲۰درصد وزن خشک خاک، گچ به آهک زنده یا آهک شکفته اضافه شود می توان خاکهـای آلی را نیز با آهک تثبیت کرد، مشروط بر آنکه رطوبت طبیعی اینگونه خاکهـای خیلـی زیـاد نباشد.

به طور کلی خاکهائیکـه در طبقـه بنـدی یونیفایـددرگروههای SP-SC, CH, CL, MH, GW, GC, GP-GC, GM-GC, SM-SC, SC, SM, SW-SC و یا در طبقه بنـدی اشـتو در گروههای A–۷ ، A–۶ ، A–۵ ، A–۴ و A–۲ قرار دارند قابلیت تثبیت شـدن بـا آهـک را دارا هستند.

تجربه نشان داده است خاکهایی که PH آنها کمتر از ۷ است و یا حـاوی مقـدار بـیش از یک درصد مواد آلی کربن دار هستند واکنش خوبی با آهک ندارند.

۵ـ۱ طرح تثبیت خاک با آهک

هدف اصلی از طرح تثبیت خاک بـا آهـک تعیـین درصـد آهـک مناسـب بـرای خـاکی بـا مشخصات معین است که باید در شرایط مشخصی از نظر قرار گیری لایه در زیر سازی و

یا روسازی و شرایط محیطی منطقه ای که راه از ان می گذرد، استفاده شود. متغیر اصلی در طرح تثبیت یک خاک با آهک آنستکه مخلوط حاصل برای استفاده در لایه های زیرسازی و روسازی عملکرد مورد نظر را تأمین کند.

درصد مناسب آهک بایستی پس از ارزیابی تأثیر 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 معمولاً 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 سازه ای و باربر در روسازی ها، مهمترین ویژگی وعامل 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 واکنش زا با آهک، پس از تثبیت با آهک و عمل آمدن به مدت ۲۸ روز درگرمای ۲۰ درجه سانتیگراد بیش از ۳/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع افزایش مقاومت فشاری تک محوری از خود نشان می دهند. 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 می شوند. صرفنظر از جنس و میزان آهک مصرفی و همچنین نحوه عمل آوردن خاک و آهک، اگر واکنش پوزولانی انجام نشود، مقاومت لازم برای استفاده از مخلوط به عنوان یک لایه باربر ایجاد نخواهد شد درصد آهک برای تثبیت خاکها بر حسب درصد وزنی خاک خشک تعیین می شود.

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

الف) آماده کردن نمونه ها

ب) عمل آوردن نمونه ها

ج) انجام آزمایشهای لازم

د) تعیین درصد آهک مناسب

آماده کردن مخلوطهای خاک و آهک بر اساس دستورالعمل ASTM D3551 به این ترتیب انجام می شود که ابتدا مقدار معینی خاک و آهک بصورت خشک با یکدیگر مخلوط شده و سپس مقدار آب لازم به آن اضافه شده و به خوبی مخلوط می شوند. مقدار آب لازم برای اضافه کردن به مخلوط خاک و آهک معمولاً برابر ویا نزدیک به درصد رطوبت بهینه که با انجام آزمایش تراکم بر اساس دستورالعمل D1557 یا ASTM D-698 تعیین می شود، مشخص می گردد. 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 نمونه های متراکم شده باید بدقت کنترل شود زیرا مقاومت مخلوط خاک و آهک بشدت تحت تأثیر نحوه تراکم و وزن مخصوص بوده و اندک تغییراتی در وزن مخصوص باعث می شود که نتوان با دقت کافی تأثیر 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.

دما، رطوبت و مدت زمان عمل آوردن نمونه های آزمایشی نیز باید کنترل شود . در مواردیکه مقاومت آنی مخلوط خاک و آهک موردنظر است عمل آوردن نمونه ها لزومی نداشته و پس از تراکم نمونه ها می توان آزمایش های لازم را بر روی آنها انجام داد. شرایط عمل آوری در آزمایشگاه باید حتی المقدور شرایط صحرایی، محیطی وکارگاهی را شبیه سازی کند. در مناطقی که مسئله چرخه یخبندان – ذوب اتفاق می افتد تأثیر سرما در ابتدای فصل زمستان بر عملکرد مخلوط بسیار زیاد است. به همین دلیل در اختیار داشتن اطلاعات جغرافیایی از منطقه جهت عمل آوردن و تخمین مقاومت مخلوط در ابتدای فصل سرما اهمیت ویژه ای دارد. به طور معمول و درصورتیکه مقاومت آنی مخلوط خاک و آهک مورد نظر نباشد، نمونه های خاک تثبیت شده با آهک باید قبل از انجام آزمایشهای لازم بر روی آنها، به مدت ۲۸روز در دمای ۳۲ درجه سانتیگراد عمل آورده شوند. شرایط عمل آوردن تسریع شده نیز شامل عمل آوردن نمونه ها به مدت۴۸ ساعت در دمای ۵۰ درجه

سانتیگراد است. توصیه میشود که برای جلوگیری از کربناته شدن آهک و همچنین جلوگیری از کاهش رطوبت نمونه ها، عمل آوردن نمونه ها در پوشش های پلاستیکی و یا ظروف دربسته انجام شود.

چون عمل آوردن نمونه ها در نتایج آزمایشها تأثیر زیادی دارد از این رو نباید مقایسه نتایج آزمایشهائی که در آنها نحوه عمل آوردن نمونه ها متفاوت است بطور دلخواه انجام شود.

۶ـ۱ تعیین درصد آهک مناسب

روشهای زیادی برای طرح مخلوط های خاک وآهک وجود دارد که از نظر هدف ومنظور از تثبیت خاک می توان 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 انی است . گروه دوم شامل روشهایی است که هدف اصلی از تثبیت خاک افزایش مقاومت و دوام مصالح است.

برای تعیین درصد آهک مناسب جهت اصلاح خواص خمیری خاکهای ریز دانه، ابتدا خاک و آهک وآب با یکدیگر بخوبی مخلوط و سپس به مدت یک ساعت به همان حالت شل رها می شود تا واکنش های آنی بین خاک وآهک به وقوع بپیوندند. سپس آزمایش دامنه خمیری خاک بر اساس روش ASTMD 4318 بر روی مخلوط خاک و آهک انجام و منحنی تغییرات دامنه خمیری وحد روانی برحسب درصد آهک رسم می شوند. درصد آهک مناسب برای یک خاک درصد آهکی است که دامنه خمیری یا حد روانی موردنظر را تأمین نماید.

برای ارزیابی و بررسی افزایشی CBR خاکها و همچنین تعیین درصد توم خاکهای اصلاح شده با آهک از آزمایش CBR استفاده می شود. این آزمایش بایستی بر اساس روش ASTM D3668 انجام شود، که می توان آن را با در نظر گرفتن اهداف تثبیت خاک با آهک بر روی نمونه های اشباع شده و یا اشباع نشده انجام داد. این آزمایش با درصدهای مختلف آهک تکرار می شود و سپس منحنی تغییرات CBR بر حسب درصد آهک در

درصد رطوبت های مختلف رسم می شود. درصد آهک مناسب مقدار آهکی است که در میزان رطوبت مورد نظر(بهینه یا طبیعی) ، CBR خاک را به مقدار موردنظر افزایش دهد که بعنوان مثال برای زیر اساس آهکی باید حداقل بابر با ۲۵ درصد باشد. چنانچه هدف از تثبیت کاهش قابلیت تورم خاک نیز باشد درصد مناسب آهک باید طوری انتخاب شودکه میزان تورم خاک اصلاح شده با آهک به مقدار مورد نظر در مشخصات کاهش داده شود.

برای تعیین درصد آهک مناسب جهت افزایش مقاومت، از نتایج آزمایش فشاری تک محوری بر روی نمونه های خاک تثبیت شده با آهک بر اساس روش ASTMD 5102 استفاده می شود . نحوه انجام این آزمایش به این ترتیب است که ابتدا خاک و آهک و آب به خوبی با یکدیگر مخلوط شده و سپس با استفاده از روش تراکم اشتو T-99 نمونه های استوانه ای شکل ساخته می شوند. نمونه های بدست آمده به مدت و دمای موردنظر در این آزمایش عمل آورده شده و سپس تحت آزمایش فشاری تک محوری قرار می گیرد. این آزمایش با درصدهای مختلف آهک تکرار شده و سپس منحنی تغییرات مقاومت فشاری بر حسب درصد آهک رسم می شود. 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 لایه های زیرسازی و روسازی، شرایط جوی منطقه و ترافیک راه دارد. حداقل مقاومت فشاری برای قشرهای اساس و زیر اساس تثبیت شده با آهک به ضخامت آنها بستگی داشته و باید با مشخصات فنی خصوصی پروژه مطابقت داشته باشد .

برای تعیین درصد آهک تقریبی جهت تثبیت خاک از روش PH و یا آشتو نیز استفاده می شود. روش PH برای تعیین درصد آهک مناسب برای تثبیت خاکها با آهک یک روش نسبتاً سریع است و بر این 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 اگر چه روش PH برای تعیین درصد آهک مناسب به منظور تثبیت خاک با آهک است یا خیر مقاومت مصالح تثبیت شده چه مقدار خواهد بود.