Archive of SID

استفاده از آهک زنده در بهسازی خاکهای با شاخص خمیری بالا

نوشته: دکتر سعید هاشمی طباطبایی* و عطاء آقایی آرایی *

Use of Quick Lime to Improve Soil Property with High Plasticity Index

By: Dr. S. Hashemi-Tabatabaei* & A. Aghaei-Araei*

چکیده

در این تحقیق به منظور بررسی رفتار مکانیکی خاک اصلاح شده بر اثر افزودن آهک زنده به خاک طبیعی با نشانه CH، حدروانی ۴۹، حدخمیری ۱۷ و نشانه خمیری ۳۲، آزمایشهای حدود اتربرگ، مقاومت فشاری و CBR بر روی نمونه‌ها انجام شده است.

در این بررسی ۳ نمونه با درصدهای آهک ۳، ۶ و ۹ و برای زمانهای ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز تهیه و پس از قرارگیری در اطاق رطوبت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰ درصد مورد آزمایش مقاومت فشاری با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر قرار گرفتند. سه نمونه با درصد رطوبت بهینه برای درصدهای مختلف ۳، ۶ و ۹ آهک تهیه و به ترتیب با ۱۰، ۲۵ و ۵۶ ضربه در ۵ لایه متراکم و پس از عمل‌آوری، نمونه‌ها به ترتیب در زمانهای ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز مورد آزمایش CBR قرار گرفتند. میزان تورم، درصد رطوبت و وزن مخصوص خشک نمونه‌ها در زمانهای یاد شده اندازه‌گیری گردید. مقایسه نتایج آزمایش CBR با مقاومت فشاری برای درصدهای مختلف آهک در زمانهای مختلف عمل‌آوری نشان دهنده مناسب بودن مقدار ۶٪ آهک برای مقاومت فشاری در سه لایه و ۵۶ ضربه برای تراکم پنج لایه در آزمایش CBR می‌باشد.

کلید واژه‌ها: شاخص خمیری بالا، آهک زنده، مقاومت فشاری، CBR، خاک اصلاح شده.

Abstract

This paper evaluates the effect of lime on mechanical behavior of improved soil. The soil tested is characterized by liquid limit of 49, plastic limit of 17 and plasticity index of 33. Atterberg limits, unconfined compressive and California Bearing Ratios (CBR) have been performed in the soil sample.

In this study, 27 specimens with 3, 6 and 9 percent quick lime and curing period of 28, 56 and 90 days were prepared. The specimens were placed in curing room temperature with 30°C and 60 percent humidity. Compressive tests were performed on 10×10×10 cm samples.

Three specimens with 3, 6, 9 percent quick lime were compacted under 10, 25 and 56 blows in five layers. The CBR tests were performed on specimen with curing period of 28, 56 and 90 days. The amount of swelling, water content and dry density were measured during different curing periods. The comparison of CBR and compression test results indicates that 6 percent of quick lime and 56 blows for different curing period yield the best result.

Key words: High Plasticity index, Quick lime, Compressive test, CBR, Improved soil

۱- مقدمه

بهسازی خاک در کلیه موارد مهندسی ژئوتکنیک و بخصوص در شرایط ضعیف بودن خاک مطرح است. این عمل به منظور اصلاح کاربرد مهندسی خاک برای دستیابی به اهدافی چون افزایش مقاومت، تغییر نفوذپذیری و پیشگیری از نشست انجام می‌شود. از جمله مواد قابل استفاده در بهسازی و تقویت خاکها در پی سازی، راه‌سازی و فرودگاهها، آهک است. هنگامی که آهک به خاک رس افزوده می‌شود، واکنشهای متعددی رخ می‌دهد. آنچه باعث افزایش قابل توجه مقاومت در ترکیب خاک با آهک می شود، واکنش پوزولانی است. با افزودن مقدار کافی آهک به خاک، pH مخلوط افزایش یافته و به بیش از ۱۲ می‌رسد. افزایش pH باعث حل شدن سیلیکات و آلومینات موجود در خاک شده و با آزاد

www.SID.ir

Archive of SID

شدن این مواد از خاک رس، ترکیب شدن با کلسیم ممکن می‌شود. ترکیب سیلیکات و آلومینات با آهک، سیلیکات و آلومینات کلسیم را می‌سازد (جهانشاهی، ۱۳۷۹ ؛ Bengt,1993; Oates,1998).

این مواد پوزولانی- بلوری شبیه سیمان هستند. واکنشهای پوزولانی تابع زمان بوده و تا هنگامی که سیلیکات و آلومینات در خاک موجود باشد، ادامه می‌یابد و بلورهای جدید را به وجود می‌آورد. واکنشهای پوزولانی بستگی به درصد رس موجود در خاک مورد استفاده دارند. تحقیقات نشان داده‌اند که مقدار رس در کل نمونه نباید کمتر از ۲۰ درصد باشد (Bengt,1993).

واکنشهای پوزولانی علاوه بر زمان، تابع دما و رطوبت نیز هستند. در گرمای کمتر از ۵۵ درجه سانتی‌گراد، واکنشهای پوزولانی کند شده و در دماهای بالاتر این واکنشها سرعت می‌یابند(Oates,1998). باید توجه داشت که افزایش آهک تا میزان مشخصی باعث افزایش مقاومت خاک می‌شود (یعنی تا زمانی که یون سیلیکات (SiO_2) در خاک موجود باشد) و پس از آن، افزایش آهک موجب کاهش مقاومت می‌شود.

آهک زنده(Quicklime) به علت دارا بودن CaO بیشتر، تأثیر بیشتری در تثبیت خاک نسبت به آهک شکفته $Ca(OH)_2$ دارد (Bengt,1993). اما کار کردن با آهک شکفته ایمن‌تر و بنابر این کاربرد آن در صنعت مرسوم‌تر است. معمولاً مقدار ۴ درصد وزنی آهک شکفته برابر با ۳ درصد آهک زنده است، با این تفاوت که آهک زنده به آب بیشتری برای هیدراته شدن نیاز دارد. تبدیل آهک زنده به آهک شکفته با آزاد شدن گرما همراه است. همچنین تبدیل آهک زنده به آهک شکفته با تغییر وزن مخصوص همراه است؛ به گونه‌ای که پس از شکفته شدن به مقدار ۲/۲ تا ۲/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش می‌یابد، همین طور حجم آن افزایش یافته و به ۲/۵ تا ۳ برابر حجم اولیه می‌رسد (Oates,1998).

چنانچه مقدار رس کافی نباشد و یا آهک بیش از حد به خاک اضافه شود به علت ایجاد $CaCo_3$ بهسازی خاک با آهک ناکارآمد می‌شود. لذا لازم است که درصد بهینه آهک و رطوبت بهینه طرح اختلاط با انجام آزمایش تعیین شود.

۲- آزمایشهای فیزیکی

در این تحقیق خاک طبیعی با نشانه CH با حد روانی ۴۹ ، حد خمیری ۱۷ و نشانه خمیری ۳۲ به منظور بررسی تأثیر آهک زنده بر روی خواص مقاومت فشاری و CBR مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب شیمیایی خاک و آهک مورد استفاده، در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. pH خاک خالص و آهک مورد استفاده در این مطالعات به ترتیب ۷/۸۴ و ۱۲/۳۵ است و نتایج این آزمایش برای خاک اصلاح شده با درصدهای مختلف آهک در جدول ۳ ارائه شده است (STM,1999).

مقادیر جدول ۴ نشان می‌دهد که شاخص خمیری با افزایش درصد آهک زنده کاهش می‌یابد. برای مثال، یک ساعت پس از عمل‌آوری نمونه با ۳٪ آهک زنده، مقدار PI از ۳۲ به ۱۴ می‌رسد. مقادیر نظیر برای نمونه‌های ۶٪ و ۹٪ آهک به ترتیب ۱۵ و ۱۳ است (نمودار ۱). بنابراین مقدار آهک مصرفی ارتباط مستقیم با واکنشهای کاتیونی که در کوتاه مدت موجب تغییر بافت خاک می‌شود، دارد.

۳- آزمایش تراکم

به منظور تعیین وزن مخصوص خشک حداکثر خاک و رطوبت بهینه، آزمایش تراکم استاندارد(STM,1991) بر روی نمونه‌های مورد بررسی با درصدهای متفاوت آهک زنده در یک ساعت عمل‌آوری (۳، ۶ و ۹٪) انجام گرفت. با توجه به نتایج، وزن مخصوص خشک حداکثر و رطوبت بهینه نمونه طبیعی خاک به ترتیب ۱/۶۲ و ۲۳٪، نمونه محتوی ۳٪ آهک زنده به ترتیب $1/63\ gr/cm^3$ و ۲۲ درصد، نمونه محتوی ۶٪ آهک به ترتیب $1/62\ gr/cm^3$ و ۲۳ درصد و برای نمونه محتوی ۹٪ آهک زنده به ترتیب برای $1/64\ gr/cm^3$ و ۲۱ درصد می‌باشد. افزودن آهک شکفته به خاک موجب کاهش قابل توجه وزن مخصوص خشک و افزایش رطوبت می‌گردد (جهانشاهی،۱۳۷۹؛ هاشمی طباطبائی،۱۳۸۴؛ هاشمی طباطبائی، ۱۳۸۱). نتایج آزمایش بر روی آهک زنده در جدول ۵ و نمودار ۲ ارائه شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود با افزایش درصد آهک زنده وزن مخصوص خشک تقریباً ثابت است.

۴- آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده

به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری، پس از اختلاط خاک طبیعی و آهک زنده (۳، ۶ و ۹٪) و رطوبت بهینه، سه نمونه در سه لایه یکنواخت در درون قالبهای cm ۱۰×۱۰×۱۰ با تراکم بهینه تهیه شد. نمونه‌ها پس از ساخت به منظور عمل‌آوری به اتاق رطوبت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰٪ منتقل شدند. نمونه‌ها پس از ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند (MDCS,1983) . میانگین نتایج سه نمونه برای هر درصد آهک در جدول ۶ و نمودارهای ۳ و ۴ ارائه شده است. براساس نتایج آزمایشها ملاحظه می‌شود نمونه‌های با ۶ و ۹٪ آهک زنده در کلیه زمانهای عمل‌آوری (۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه) از بیشترین مقاومت برخوردار بوده‌اند. بررسی مراجع نشان می‌دهد هنگام استفاده از آهک شکفته با گذشت زمان مقاومت فشاری محصور نشده افزایش می‌یابد

www.SID.ir

Archive of SID

(Oates,1998; جهانشاهی،۱۳۷۹؛ هاشمی طباطبائی، ۱۳۸۴؛ هاشمی طباطبائی،۱۳۸۱).

براساس نتایج آزمایشها، تغییرات مقاومت فشاری برای درصدهای مختلف آهک در زمانهای مختلف عمل‌آوری قابل توجه است. به طوری که کلیه نمونه با درصدهای مختلف آهک و ۹۰ روز عمل‌آوری نسبت به نمونه‌های ۲۸ روز تقریباً پنجاه درصد کاهش مقاومت نشان می‌دهند. مقدار مقاومت فشاری و همچنین میزان کاهش مقاومت نمونه‌های با ۶٪ و ۹٪ آهک زنده با گذشت زمان تقریباً مشابه است و تنها میزان کاهش مقاومت نمونه با ۶٪ آهک با گذشت زمان اندکی بیش از نمونه با ۹٪ آهک است. براساس نتایج آزمایشهای مقاومت فشاری، مقدار آهک زنده بهینه برای دستیابی به مقاومت مناسب برای این خاک حدود ۶٪ می‌باشد. پدیده کاهش مقاومت، در کلیه ۲۷ نمونه مورد آزمایش ملاحظه شد. به نظر می‌رسد علت کاهش مقاومت ناشی از تورم نمونه‌ها و تغییر پارامترهای مقاومتی در اثر افزودن آهک است (جدول ۷).

۵- آزمایش CBR

به منظور بررسی تأثیر آهک بر روی مقدار CBR، تعدادی نمونه با درصدهای مختلف آهک زنده (۳، ۶ و ۹٪)، خاک طبیعی و تعداد ضربات ۱۰، ۲۵ و ۵۶ ضربه تهیه و پس از عمل‌آوری در مدت زمانهای ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز، تحت آزمایش قرار گرفته‌اند(ASTM,1883) . در این مرحله همراه با آزمایشهای CBR، آزمایشهای فیزیکی مانند حدود اتربرگ، وزن مخصوص خشک حداکثر، میزان تورم و درصد رطوبت انجام گرفت. در جدول ۷ خلاصه‌ای از نتایج آزمایشهای CBR، درصد تورم، درصد رطوبت و وزن مخصوص خشک خاک مورد بررسی ارائه شده است.

۵-۱- بررسی میزان آهک بر تغییرات شاخص خمیری

پس از انجام آزمایش CBR، به منظور بررسی تأثیر درصد آهک و زمان بر روی شاخص خمیری خاک مورد مطالعه، نمونه‌ها با چکش پلاستیکی خرد و به اندازه مناسب تبدیل شدند. براساس نتایج آزمایشهای انجام شده روی نمونه‌های حاصل از CBR با افزایش درصد آهک مقدار PI به نحو قابل ملاحظه کاهش می‌یابد (جدول ۸). نتایج نشان می‌دهند که افزایش آهک تغییرات بسیار محسوسی در حدخمیری خاک مورد مطالعه ایجاد کرده است. تقریباً تمام خاکهای ریزدانه وقتی با آهک و آب مخلوط می‌شوند، در کوتاه مدت واکنش تبادلی کاتیونی و در دراز مدت واکنشهای پوزولانی انجام می‌گیرد. واکنش کاتیونی بلافاصله پس از افزودن آب و آهک به خاک انجام گرفته و باعث کاهش پلاستیسیته، افزایش کارآیی و مقاومت نسبی آن و همچنین تغییر ساختمان خاک به حالت مجتمع می‌شود. در واقع بر اثر واکنش، بافت خاک رسی از نظر فیزیکی تغییر کرده و مانند لای و ماسه عمل می‌کند و در نتیجه، عملاً ذرات رس تمایل به جفت شدن با یکدیگر و تشکیل ذرات بزرگ‌تر را دارند(Das,1995). آنچه باعث افزایش قابل توجه مقاومت در ترکیب خاک و آهک می‌شود واکنش پوزولانی است. واکنشهای پوزولانی تابع زمان بوده و تا هنگامی که سیلیکات و آلومینات در خاک موجود باشد، ادامه می‌یابد(Oates,1998).

در نمونه‌های حاوی ۹٪ آهک زنده مقدار کاهش PI کاملاً مشهود است. در نمونه‌هایی با ۳٪ آهک زنده ابتدا PI کاهش و احتمالاً به دلیل مقدار نامناسب آهک افزایش یافته و به مقادیر نظیر خاک طبیعی نزدیک می‌شود. در نمونه‌های محتوی ۶٪ آهک زنده با افزایش زمان عمل‌آوری تا ۲۸ روز مقدار PI ابتدا کاهش و سپس در۵۶ روز عمل‌آوری افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. اما در ۹۰ روز عمل‌آوری، روند کاهشی است. مقدار کاهش PI خاک محتوی ۹٪ آهک زنده با افزایش زمان عمل‌آوری در مقایسه با نمونه‌های ۳ و ۶٪ آهک قابل توجه است (نمودار ۵). با افزایش زمان عمل‌آوری، در نمونه محتوی ۹٪ آهک مقدار کاهش PI بیشتر است. مقدار PI نمونه‌ها با ۳٪ و ۶٪ آهک زنده در ۹۰ روز به ترتیب در حدود ۳۱ و ۱۳ است. مقدار PI نمونه محتوی ۹٪ آهک زنده در ۲۸ روز در حدود ۱۳ و در ۹۰ روز ۱۰ است(نمودار ۶).

۵-۲- بررسی تأثیر آهک بر تورم نمونه‌ها

میزان تورم، بر اساس استاندارد تعیین شد (ASTM,1883) . برای اندازه‌گیری تورم، از کرنش سنج با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر استفاده شد. کرنش‌سنج به وسیله یک اهرم مغناطیسی به بدنه قالب CBR متصل شد. سپس یک صفحه فلزی بسیار نازک و سبک، در وسط قالب قرار داده شد و پایه کرنش‌سنج عمود بر آن قرار گرفت. مقدار تورم به مدت ۲۸ روز به صورت روزانه و پس از آن یک بار در هفته به مدت ۹۰ روز قرائت گردید. بررسی نتایج نشان می‌دهد با افزایش زمان عمل‌آوری میزان تورم نمونه افزایش می‌یابد. مقدار تورم نمونه‌ها با ۶٪ آهک و ۱۰، ۲۵ و ۵۶ ضربه برای زمان عمل‌آوری ۲۸ روز به ترتیب در حدود ۳ ، ۱۰ و ۵، نمونه با ۵۶ روز عمل‌آوری به ترتیب در حدود ۴ ، ۱۳ و ۷ و برای ۹۰ روز عمل‌آوری به ترتیب در حدود ۵، ۱۴ و ۸ درصد است. نتایج نشان می‌دهند در نمونه‌های با تراکم بهینه (۲۵ ضربه) و ۶٪ آهک محتوی حداکثر تورم مشاهده می‌شود (نمودار ۷ و ۸). تغییرات میزان تورم و زمان عمل‌آوری در نمونه محتوی درصدهای مختلف آهک زنده و ۵۶ ضربه کوبش برای هر لایه در آزمایش CBR در نمودار ۹ نشان داده شده است. همان طور که

www.SID.ir

Archive of SID

ملاحظه می‌شود نمونه‌های با ۹٪ آهک و ۵۶ ضربه دارای بیشترین تورم است. کمترین تورم، در نمونه‌های ۱۰ ضربه احتمالاً به دلیل وزن مخصوص خشک پایین آنهاست که تورم ناشی از افزایش حجم آهک زنده را تحمل می‌کند. اما نمونه‌های با درصدهای مختلف آهک در ۵۶ ضربه به دلیل چگالی بالاتر، تورم بیشتر و با گذشت زمان کاهش وزن مخصوص خشک مشاهده می‌شود(جدول ۸).

۵-۳- بررسی تأثیر آهک بر وزن مخصوص خشک حداکثر

در نمونه‌های محتوی ۶٪ آهک، مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر، در ۵۶ ضربه تقریباً ثابت است. مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر برای نمونه با تعداد کوبش ۵۶ ضربه برای ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز عمل‌آوری به ترتیب در حدود ۱/۶۵، ۱/۶۴، ۱/۶۶ gr/cm^3 است. اما برای ضربات کمتر (۲۵ ضربه) به ترتیب در حدود ۱/۷۳، ۱/۶۱ و ۱/۴۹ gr/cm^3 و برای نمونه با ۱۰ ضربه به ترتیب در حدود ۱/۶۱، ۱/۵۰ و ۱/۳۱ gr/cm^3 است. نتایج نشان می‌دهند در مجموع افزایش درصدهای مختلف آهک زنده با گذشت زمان موجب کاهش وزن مخصوص خشک حداکثر شده است. اما این روند در نمونه‌های محتوی ۶٪ آهک و ۵۶ ضربه مشاهده نمی‌شود.

۵-۴- تجزیه و تحلیل نتایج

بر اساس نتایج آزمایشها، مقدار CBR برای خاک بدون مواد افزودنی و ۵۶ ضربه در حدود ۶/۹ است. مقدار CBR با افزودن آهک زنده روندهای متفاوت نشان می دهد. مقادیر CBR نمونه‌های محتوی ۳٪ آهک زنده با گذشت زمان احتمالاً به دلیل درصد نامناسب آهک کاهش می‌یابد، اما نمونه‌های با ۶٪ و ۹٪ آهک ، ۲۵ و ۵۶ ضربه مقاومت بیشتری را نشان داده‌اند (نمودار ۱۰).

نتایج آزمایش نشان می‌دهد که در درصدهای مختلف آهک، نمونه‌های با تراکم ۵۶ ضربه مناسب‌ترین مقدار CBR را نشان می‌دهند. نمونه‌های محتوی سه درصد آهک با گذشت زمان روند نزولی دارند اما نمونه‌های محتوی ۶ و ۹ درصد آهک روند صعودی نشان می‌دهند. مقادیر ارائه شده برای میزان تورم و مقدار CBR نشان می‌دهد که میزان تورم در نمونه‌های ۹٪ بیشتر از نمونه‌های ۶٪ آهک است (جدول ۷).

افزایش صعودی CBR با افزایش ضربات کوبش (نمونه‌های متراکم‌تر، ۵۶ ضربه) در نمونه با ۶٪ آهک در زمانهای مختلف عمل‌آوری قابل ملاحظه است (نمودار ۱۱). این افزایش به دلیل پیش تنیدگی در اثر افزایش حجم آهک زنده (Oates,1998)، تراکم بیشتر و تورم کمتر نسبت به نمونه‌های دیگر است.

نتایج آزمایش CBR با مقاومت فشاری محصور نشده برای درصدهای مختلف آهک زنده در زمانهای مختلف عمل‌آوری در جدول ۷ ارائه شده است. مقایسه نتایج نشان دهنده مناسب بودن مقدار ۶٪ آهک و ۵۶ ضربه تراکم برای بهسازی خاک مورد نظر در آزمایشهای مقاومت فشاری و CBR است.

۶-نتیجه گیری

نتایج آزمایشهای فیزیکی و مکانیکی در این تحقیق نشان می‌دهد که:

۱- مقادیر شاخص خمیری با افزودن آهک ابتدا کاهش و سپس با توجه به درصد آهک، افزایشی و یا کاهشی خواهد بود.

۲- افزایش آهک زنده به خاک با شاخص خمیری بالا با گذشت زمان، موجب کاهش وزن مخصوص خشک حداکثر می‌شود.

۳- در نمونه‌های محتوی ۶٪ آهک، مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر، در ۵۶ ضربه در کلیه زمانهای عمل آوری تقریباً ثابت است.

۴- بر اساس نتایج آزمایشها، با افزایش زمان عمل‌آوری میزان تورم نمونه افزایش می‌یابد. در نمونه‌های (۲۵ ضربه) با تراکم بهینه و محتوی ۶٪ آهک، بیشترین تورم مشاهده می‌شود.

۵- در آزمایشهای مقاومت فشاری محصور نشده در کلیه نمونه پس از ۹۰ روز عمل‌آوری در مقایسه با نمونه‌های ۲۸ روزه تقریباً پنجاه درصد کاهش مقاومت به وجود می‌آید. مقدار مقاومت فشاری محصور نشده و همچنین میزان کاهش مقاومت نمونه‌های با ۶٪ و ۹٪ آهک زنده با گذشت زمان تقریباً مشابه است.

۶- افزایش صعودی ضربات کوبش (نمونه‌های متراکم‌تر با ۵۶ ضربه) و مقدار CBR در نمونه با ۶٪ آهک قابل ملاحظه است. در صورتی که نمونه‌هایی که تقریباً مشابه تراکم استاندارد کوبیده شده‌اند (۲۵ ضربه) مقدار CBR به دلیل تورم بیشتر کاهش می‌یابد.

۷- نتایج نشان می‌دهد که در درصدهای مختلف آهک و ۵۶ ضربه مناسب‌ترین مقدار CBR حاصل می‌شود. اما با گذشت زمان نمونه‌های ۳٪ آهک روند نزولی و نمونه‌های حاوی ۶ و ۹٪ آهک روند صعودی نشان می‌دهند. مقدار CBR در نمونه‌های حاوی ۶٪ آهک به دلیل وزن مخصوص خشک بیشتر و تورم کمتر، بیشتر است.

۸- مقایسه نتایج آزمایش CBR با مقاومت فشاری برای درصدهای مختلف آهک در زمانهای مختلف عمل‌آوری نشان می‌دهد که مقدار آهک و ضربه بهینه برای خاک مورد مطالعه ۶٪ و ۵۶ ضربه است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- ترکیب شیمیایی نمونهٔ خاک رس مورد مطالعه

L.O.I.[1]	۸/۰۵	MgO	۱/۶۹
SiO_2	۵۲/۵۰	SO_3^-	۴/۸۹
Al_2O_3	۱/۶۶۵	Cl^-	۰/۳۵
Fe_2O_3	۷	CaO	۶/۲۴

1: افت وزن بر اثر سرخ شدن

جدول ۲- درصد ترکیبات شیمیایی موجود در نمونه آهک زنده

SiO_2	۰/۵۶
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	۰/۸۴
CaO	۷۴/۹۲
MgO	۰/۳۲
L.O.I.	۲۲/۶۸

جدول۳- تغییرات pH بر حسب درصد آهک زنده

pH	میزان آهک (٪)
۱۲/۱۰	۳
۱۲/۱۹	۶
۱۲/۲۵	۹

جدول ۴- تغییرات حدود اتربرگ با درصدهای مختلف آهک زنده

PI	PL	LL	میزان آهک زنده (٪)
۳۲	۱۷	۴۹	۰
۱۴	۲۹	۴۲	۳
۱۵	۲۸	۴۲	۶
۱۳	۲۸	۴۱	۹

جدول ۵- نتایج آزمایش تراکم با درصدهای متفاوت آهک زنده

وزن مخصوص خشک حداکثر (gr/cm^3)	درصد رطوبت بهینه (٪)	میزان آهک (٪)
۱/۶۲	۲۱/۳	۰
۱/۶۳	۲۲	۳
۱/۶۲	۲۳	۶
۱/۶۴	۲۱/۳۵	۹

جدول ۶- نتایج تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده با درصدهای مختلف آهک زنده و زمانهای مختلف عمل آوری

مدت عمل آوری (روز)	$q_c(kg/cm^2)$		
	میزان آهک ۹٪	میزان آهک ۶٪	میزان آهک ۳٪
۲۸	۴۰/۶۷	۴۰/۳۳	۱۶/۳۳
۵۶	۲۴	۱۸	۹
۹۰	۲۰	۱۷/۶۷	۸

www.SID.ir

Archive of SID

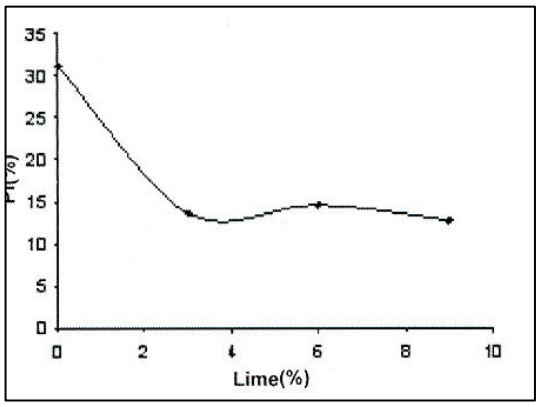
جدول ۷- خلاصه‌ای از نتایج آزمایشهای CBR، تورم، درصد رطوبت رطوبت و وزن مخصوص خشک خاک مورد بررسی

خاک بدون آهک												
Tamp	CBR											
۱۰	۳,۲۸											
۲۵	۵,۳۶											
۵۶	۶,۹											
خاک با ۳ ٪ آهک												
tamp	γ_d (۲۸)	Swelling (%)	W (%)	CBR (۲۸)	γ_d (۵۶)	Swelling (%)	W (%)	CBR (۵۶)	γ_d (۹۰)	Swelling (%)	W (%)	CBR (۹۰)
۱۰	۱,۴۶	۳,۸۱	۳۳,۲۴	۶,۰۴	۱,۶۷	۴,۴۳	۲۶,۳۶	۱۴,۸۳	۱,۵۷	۴,۵۹	۲۷,۶۲	۵,۴۹
۲۵	۱,۵۶	۶,۵۷	۳۰,۶۸	۷,۴۱	۱,۷۹	۱۹,۰۰	۲۸,۹۱	۱۷,۹۱	۱,۶۹	۱۹,۱۷	۳۱,۲۸	۳,۹۸
۵۶	۱,۷۶	۸,۵۷	۲۷,۵۴	۱۲,۰۸	۱,۸۰	۹,۰۰	۲۶,۵۲	۵۱,۵۱	۱,۵۸	۹,۱۴	۲۴,۰۴	۱۵,۹۳
خاک با ۶٪ آهک												
۱۰	۱,۶۱	۳,۱۴	۲۱,۳۸	۳۷,۰۷	۱,۵۰	۴,۳۸	۲۷,۸۰	۳۵,۰۳	۱,۳۱	۴,۸۸	۲۱,۹۸	۱۷۰
۲۵	۱,۷۳	۱۰,۲۹	۲۹,۷۳	۹,۰۶	۱,۶۱	۱۳,۱۷	۲۶,۹۲	۸۵,۲۷	۱,۴۹	۱۳,۹۵	۲۳,۹۷	۱۶۷,۸۵
۵۶	۱,۶۵	۴,۷۶	۲۶,۲۱	۳۷,۰۷	۱,۶۴	۷,۳۸	۲۶,۳۵	۹۸,۹۰	۱,۶۶	۸,۳۳	۱۸,۶۴	۱۹۹,۱۵
خاک با ۹٪ آهک												
۱۰	۱,۵۲	۸,۵۷	۳۸,۹۸	۱,۳۷	۱,۴۱	۲۶,۹۵	۲۸,۲۳	۷۶,۲۴	۱,۲۹	۲۹,۵۲	۳۱,۵۰	۲۴,۶۴
۲۵	۱,۷۱	۸,۸۶	۳۱,۷۷	۳,۵۷	۱,۴۴	۱۲,۵۷	۲۸,۰۰	۸۵,۲۷	۱,۵۲	۱۴,۵۰	۲۱,۹۹	۱۷۰,۶۲
۵۶	۱,۶۱	۱۰,۶۷	۲۳,۲۸	۷۴,۱۴	۱,۵۵	۱۴,۷۶	۲۷,۶۷	۸۶,۵۴	۱,۴۷	۱۵,۸۱	۲۱,۰۴	۱۳۷,۴۴

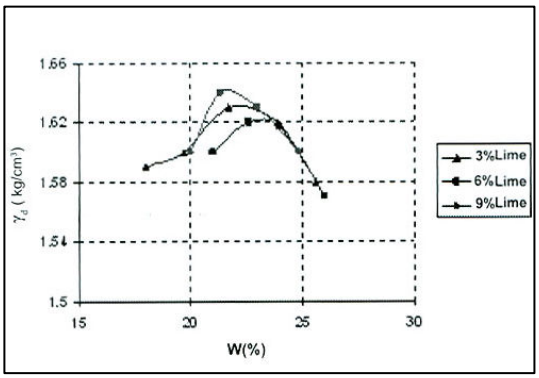
($\gamma_d : gr/cm^3$)

جدول ۸ - تغییرات حدود اتربرگ در زمانهای مختلف عمل‌آوری درصدهای مختلف آهک

	بدون آهک	۳٪ آهک			۶٪ آهک			۹٪ آهک		
زمان عمل‌آوری (روز)		۲۸	۵۶	۹۰	۲۸	۵۶	۹۰	۲۸	۵۶	۹۰
LL	۴۹	۴۲	۵۷	۶۶	۴۳	۶۴	۵۸	۴۶	۵۶	۷۰
PL	۱۷	۱۹	۲۹	۳۵	۳۲	۴۱	۴۵	۳۹	۴۵	۶۰
PI	۳۲	۲۳	۲۸	۳۱	۱۱	۲۳	۱۳	۷	۱۱	۱۰



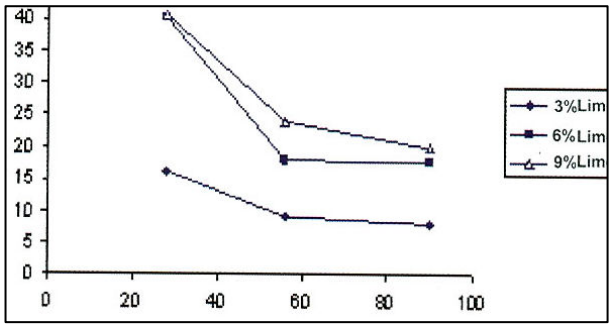
نمودار ۱- نتایج تغییرات PI با درصدهای مختلف آهک زنده نمودار



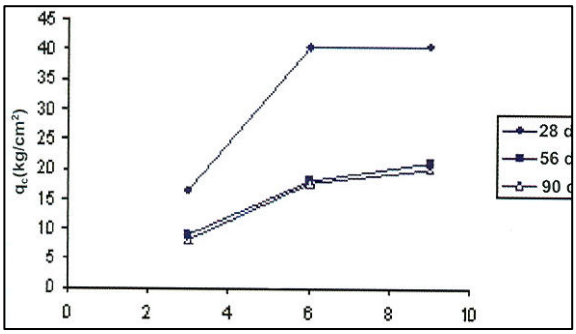
۲- نتایج آزمایش تراکم خاک اصلاح شده با درصدهای متفاوت آهک زنده

www.SID.ir

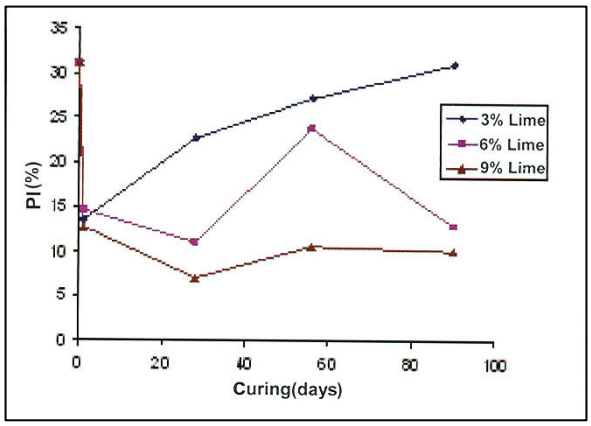
Archive of SID



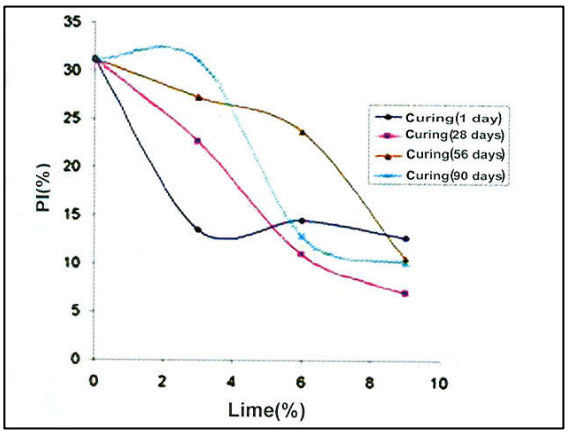
نمودار ۳- تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده در زمانهای مختلف عمل‌آوری



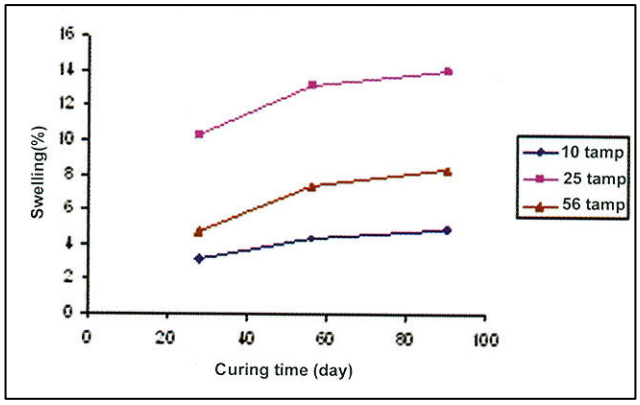
نمودار ۴- تغییرات مقاومت فشاری محصور نشده برای درصدهای مختلف آهک زنده



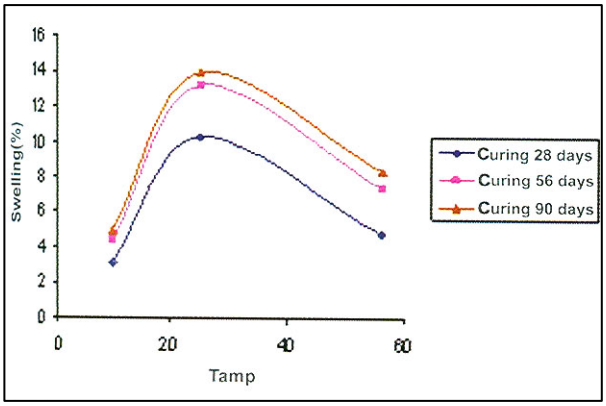
نمودار ۵- تغییرات PI در برابر زمان عمل‌آوری برای نمونه‌های محتوی درصدهای مختلف آهک زنده



نمودار ۶- تغییرات PI در برابر درصد آهک زنده و زمانهای مختلف عمل‌آوری



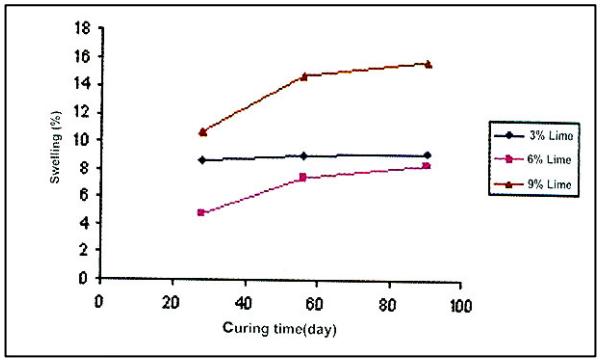
نمودار ۷- تغییرات میزان تورم نمونه‌ها و زمان عمل‌آوری در تعداد ضربات کوبش متفاوت و نمونه محتوی ٦٪ آهک زنده



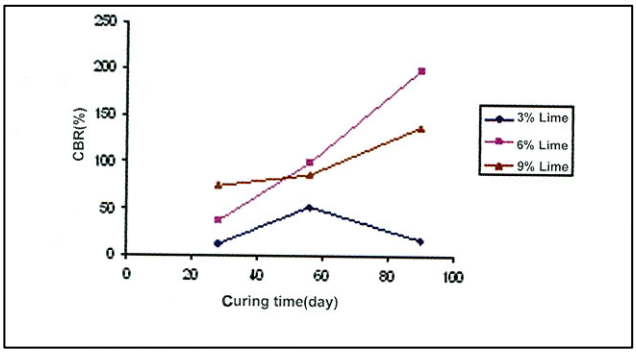
نمودار ۸- تغییرات میزان تورم نمونه‌ها و تعداد ضربات کوبش در زمانهای مختلف عمل‌آوری و نمونه محتوی ٦٪ آهک زنده

www.SID.ir

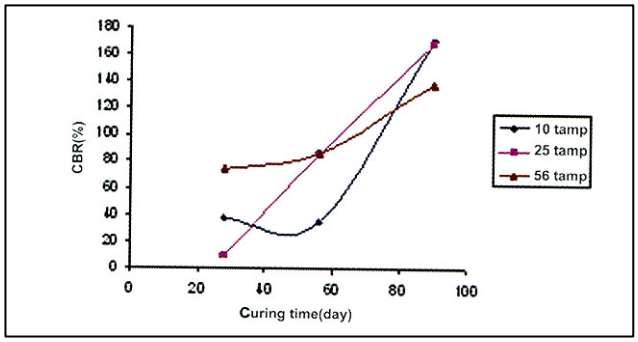
Archive of SID



نمودار ۹- تغییرات میزان تورم و زمان عمل‌آوری در نمونه محتوی درصدهای مختلف آهک زنده و ۵۶ ضربه کوبش



نمودار ۱۰- تغییرات CBR و زمان عمل‌آوری در ۵۶ ضربه کوبش و درصدهای مختلف آهک زنده



نمودار ۱۱- تغییرات CBR و زمان عمل‌آوری در کوبشهای متفاوت برای نمونه محتوی ۶٪ آهک زنده

کتابنگاری

جهانشاهی، م.، ۱۳۷۹- تثبیت شیمیایی خاکهای گچ‌دار با استفاده از آهک و مقایسه نتایج روش اختلاط معمولی با دو مرحله‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران.

هاشمی طباطبائی، س.، ۱۳۸۱- استفاده از مواد افزودنی برای بهسازی و پایدارسازی شیب‌های مارنی، پروژه تحقیقاتی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

هاشمی طباطبائی، س. ، آقایی آرایی، ع. ، ۱۳۸۴- بررسی تأثیر آهک شکفته و زنده بر مشخصات فیزیکی و مقاومتی خاکهای اصلاح شده، پروژه تحقیقاتی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

References

Bengt, B. Broms,1993- Ground Improvement, John Wiley & Sons publishing company.

Das, B.M., 1995- Principles of foundation engineering- PWS publishing Company- Boston.

Method for determination of compressive strength of concrete cubes, 1983- BS 1881: Part 116.

Oates, J.A.H., , 1998- Lime and Limestone, John Wiley & Sons publishing company.

Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory compacted soils [ASTM-1883], Annual book of ASTM Standard, Vol. 04.09- pp. 149- 157.

Standard Test Method, for Laboratory compaction characteristics of soil using standard effect,1991- ASTM D698- Vol.04.08- pp 69- 76.

Standard test methods for physical testing of quicklime, hydrated lime and lime stone, 1999- C110- 98- Annual book of ASTM standard- Vol. 04. 01- pp 80- 83.

*مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بخش ژئوتکنیک، تهران، ایران

*Building & Housing Research Center, Geotechnical Dept., Tehran, Iran

www.SID.ir