Archive of SID

دومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
کرمانشاه، ۹ و ۱۰ مهر ماه ۱۳۹۳

بررسی تغییرات میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاکهای لسی در اثر افزودن سیمان و آهک

سید عرفان حسینی[۱]، محسن لشکربلوک[۲]

۱- دانشکده فنی و مهندسی، مرکز آق قلا، دانشگاه آزاد اسلامی، آق قلا

۲- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان

erfanhosseini@yahoo.com

خلاصه

با توجه به اهمیت پروژه های عمرانی نظیر سدها، کانالها،ساختمان ها و... ساخته شده در محل وجود خاکهای لسی ، لزوم تحقیق هرچه بیشتر بر روی پارامترهای تأثیرگذار نشست در این نوع از خاکها مد نظر قرار گرفت. در این تحقیق با انجام آزمایشات دانه بندی، حدود اتربرگ، پروکتور، برش مستقیم و تحکیم به شناسایی و بررسی پارامترهای فیزیکی و مقاومتی خاک مورد نظر پرداخته و سپس اثر استفاده از افزودنیهای سیمان و آهک در تثبیت خاکهای لسی مورد بررسی قرار گرفته است. با گذشت زمان تحت اثر افزودنیها، پتانسیل رمبندگی کاهش شدیدی پیدا کرده و با افزایش درصد سیمان و آهک میزان وزن مخصوص خشک ماکزیمم کاهش و میزان رطوبت بهینه افزایش یافته است. همچنین میزان حد روانی و شاخص خمیری کاهش و حد خمیری افزایش می یابد. نتایج آزمایش برش مستقیم حاکی از افزایش مقاومت برشی خاک به دلیل افزایش پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی می باشد.

کلمات کلیدی: نشست، مقاومت برشی، تثبیت خاک

۱. مقدمه

از جمله مباحثی که اخیراً نظر متخصصین خاک و پی را به خود معطوف داشته، بررسی و پیش بینی رفتار خاکهای مسئله دار (خاکهای با منشأ آلی و نباتی، خاکهای رس اشباع و نرم، خاکهای ماسه ای و لای شل، خاکهای رمبنده و خاکهای فروریزشی، خاکهای واگرا، خاکریزها، خاکهای با منشأ زباله و ضایعات) می باشد. اصولاً خاکی مسئله دار است که رفتاری غیر قابل انتظار تحت شرایط خاص از خود بروز دهد که این رفتار پیش بینی نشده در بسیاری از موارد ایجاد مشکل خواهد نمود. خاکهای رمبنده مثل خاک لس از جمله خاک های مسئله دار بوده و کشور ایران در زمره کشورهایی قرار گرفته که در اکثر استانهای آن خاکهای رمبنده وجود دارد که در صورت عدم شناسایی این نوع خاکها، چنانچه سازه ای بر روی آنها احداث شده و خاک زیر سازه به علت ترکیدگی لوله ها ، نفوذ آبهای سطحی و یا بالا آمدگی سطح سفره های زیر زمینی و یا به هر علت دیگر اشباع شود اتصالات ضعیف و نیمه پایدار بین ذرات از بین رفته، مقاومت برشی خاک کاهش یافته، لغزش بر روی اتصالات بین دانه ها صورت گرفته و کاهش حجم بوقوع می پیوندد و پی سازه دچار مشکل خواهد شد. بنابراین ضروری به نظر می رسد که این نوع خاکها را شناسایی و طبقه بندی نمود و روش های مناسب تثبیت و احداث پی بر روی آنها را پیدا کرد [۱].

تا کنون مطالعاتی پیرامون تثبیت و بهسازی خاکهای مسئله دار با استفاده از مواد افزودنی نظیر قیر- آهک، قیر-سیمان، خاکستر- آهک و ... توسط دانشمندان کشورهای مختلف انجام شده است بطوریکه پس از سال ۱۹۴۵ اصلاح خاک با آهک شکفته در آمریکا و اصلاح شنهای رس دار تثبیت شده با سیمان در آفریقا متداول شد و در نواحی مرطوب اروپایی و با توجه به شرایط آب و هوایی آن ناحیه، اصلاح خاک با آهک با کاربرد آهک زنده بجای آهک شکفته صورت گرفت. این روش اصلاح در دهه های ۵۰ و ۷۰ در اغلب کشور های اروپایی مرسوم بوده است، از سال ۱۹۹۵ یک برنامه

---

[۱] عضو هیأت علمی دانشگاه
[۲] عضو هیأت علمی دانشگاه

www.SID.ir

Archive of SID

جامع تحقیقاتی بر روی ستونهای آهکی – سیمانی در سوئد شروع گردید. این برنامه توسط انستیتوی ژئوتکنیک و انجمن تحقیقاتی تثبیت خاک سوئد با همکاری شرکت های عظیم ماشین سازی این کشور صورت گرفت. خواص خاک تثبیت یافته با آهک و سیمان، اجرای ستونها، روشهای کنترل کیفیت و نیز عملکرد خاک تثبیت شده در مجاورت نوسانات آب زیر زمینی، از جمله موارد در دست مطالعه هستند. در این راستا تحقیقات زیادی در ژاپن نیز در زمینه تزریق دوغاب و روش اختلاط عمیق خاک انجام گردیده و کماکان ادامه دارد [۲].

ما نیز با توجه به موضوعات پیش گفت بر آن شدیم اثر افزودنی های سیمان و آهک با نسبت های وزنی متفاوت را بر روی پتانسیل رمبندگی و پارامترهای مقاومتی خاکهای لسی به همراه تأثیر پارامتر زمان عمل آوری نمونه ها روی خصوصیات مکانیکی و فیزیکی اینگونه از خاکها مورد بررسی و کنکاش قرار دهیم.

۲. روش کار

این مطالعه از نوع میدانی و آزمایشگاهی بوده که با هدف تثبیت خاکهای لسی بوسیله افزایش مقاومت برشی خاکها با اضافه کردن درصدهای مختلفی از سیمان و آهک بصورت مجزا و باهم به خاک مورد نظر در سال ۱۳۸۹ انجام گرفته است. نمونه های پژوهش در این مطالعه شامل ۴ مورد می باشد، بطوریکه حدود یک تن خاک را از منطقه دره ناهارخوران شهرستان گرگان که یکی از محلهای وجود خاکهای لسی در ایران است را جمع آوری کرده و به آزمایشگاه برده و با اضافه کردن سیمان و آهک به مقدار به ترتیب ۲ و ۴ درصد وزن خاک ترکیبات مختلفی به شرح جدول ذیل بدست آوردیم:

جدول ۱- نسبت های اختلاط مواد افزودنی

نوع ترکیب	S	S+4L	S+2C	S+4L+2C
علامت اختصاری	خاک طبیعی	خاک طبیعی+۴٪ آهک	خاک طبیعی+۲٪ سیمان	خاک طبیعی+۴٪ آهک+۲٪ سیمان

در مرحله بعد با انجام آزمایشات دانه بندی، حدود اتربرگ، تعیین درصد رطوبت، دانسیته، چگالی دانه های خاک، تراکم، برش مستقیم و تحکیم به شناسایی و بررسی پارامترهای مقاومتی پرداخته شد به گونه ای که اثر استفاده از افزودنی های سیمان و آهک در تثبیت خاکهای لسی به تنهایی و یا بصورت نسبت های ترکیبی در درصدهای مختلف به خاک اضافه شده (طبق جدول فوق) برای زمان های متفاوت، مورد بررسی قرار گرفت .(Clevenger, 1959 .Clemencc , 1981)

همچنین هریک از آزمایشات فوق بر اساس استانداردهای ASTM بوده و به منظور جلوگیری از خطاها و اشتباهات احتمالی برای هر نمونه سه مرتبه تکرار شد که پاسخ های بدست آمده در هر آزمایش تا حدود زیادی نزدیک به هم بوده است. سپس در مرحله بعد با استفاده از آزمون های آماری Ttest و Anova ، داده ها توسط نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۳. یافته ها

آزمایش دانه بندی و هیدرومتری (ASTM D422-63): طبق آزمایشات انجام شده بر روی خاکهای منطقه مورد نظر مشخص گردید خاک مذکور شامل حدودا" ۱۹/۹٪ ماسه و ۷۰/۴٪ سیلت و ۹/۷٪ رس بوده و از نوع ML-CL می باشد.

آزمایش تعیین درصد رطوبت(ASTM D2216-90): هدف از این آزمایش، تعیین درصد وزنی رطوبت در خاک نسبت به دانه های خشک بود که همانطور که می دانیم از این آزمایش نمی توان درصد رطوبت واقعی مصالحی را که دارای مقدار قابل توجهی کانی های مونت موریلونیت و گچ است بدست آورد، نتایج بدست آمده میزان رطوبت طبیعی خاک را ٪۱۴/۵ نشان می دهد.

آزمایش تعیین چگالی ذرات خاک (ASTM:D 854-58): هدف از این آزمایش تعیین نسبت وزن مخصوص بخش جامد خاک به وزن مخصوص آب می باشد که این مقدار برای دانه های رد شده از الک شماره ۲۰۰ برابر ۲/۶۷ بدست آمد. (GS=۲/۶۷)

آزمایش دانسیته (ASTM:D2167): این آزمایش برای به دست آوردن وزن واحد حجم خشک خاک در حالت طبیعی یا یک لایه خاک کوبیده شده با استفاده از ماسه کالیبره شده یا بالون لاستیکی می باشد. آزمایش تعیین وزن واحد حجم خشک خاک در محل، جهت ارزیابی میزان تراکم خاکریز صورت می گیرد، با توجه به آزمایش انجام شده میزان چگالی برای خاک طبیعی مورد نظر ۱۳/۸۴ کیلو نیوتن بر متر مکعب می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

آزمایش تعیین حدود اتربرگ (ASTM: D 4318-87): علت بررسی حدود اتربرگ، اهمیت این پارامتر در تعیین رفتار و خصوصیات خاک می باشد. عواملی همچون مقاومت برشی بین سطح ذرات و ضخامت لایه دوگانه پراکنشی و نوع کانی های خاک و قابلیت کاتیونی، اندازه والانس کاتیونها و PH سیستم در میزان حدود اتربرگ تأثیر گذار می باشد. با اضافه کردن آهک و سیمان و یا ترکیب آهک و سیمان به خاک خصوصیات دامنه خمیری و حد روانی کاهش می یابد، بطوری که در برخی موارد ممکن است مخلوط خاک و سیمان کاملاً غیر خمیری شود. خاکهائی که دارای مقدار بیشتری آهک و سیمان هستند حالت غیرخمیری بیشتری دارند . اگر اضافه کردن ترکیبات به خاک در چند مرحله صورت بگیرد، معمولاً مقدار ترکیبی که در مرحله اول به خاک اضافه می شود دارای تأثیر بیشتری در کاهش خصوصیات خمیری خاک می باشد و بترتیب از تأثیر آن در مراحل بعدی کاسته می شود.

آزمایش تراکم استاندارد (ASTM:D698): هدف از انجام این آزمایش بررسی تاثیر افزودن آهک و سیمان بر روی وزن مخصوص خشک حداکثر و رطوبت بهینه خاک و ساخت نمونه برای آزمایش برش مستقیم، تحکیم و مقاومت فشاری در تراکم و رطوبت بهینه بود که تایج حاصله از این آزمایش نشان داد خاک تثبیت شده با آهک و سیمان دارای حداکثر وزن مخصوص خشک کمتر و درصد رطوبت بهینه بیشتری از خاک تثبیت نشده است. هر اندازه میزان ترکیبات مصرفی برای تثبیت خاک بیشتر باشد مقدار این اختلاف نیز بیشتر خواهد بود. همچنین با اضافه نمودن ترکیبات آهک و سیمان درخاک، میزان وزن مخصوص کاهش یافته که دلیل این امر واکنش آب آزاد در نمونه ها برای انجام واکنش شیمیایی و تبدیل آن به آب ملکولی می باشد. زیرا نمونه های با در صد آهک و سیمان به علت سطح تماس بیشتر (به دلیل ریز تر شدن دانه ها) آب بیشتری لازم داشته و این آب در بین مصالح قرار گرفته و باعث کاهش میزان وزن مخصوص خشک ماکزیمم و افزایش مقدار رطوبت بهینه می شود .

آزمایش تحکیم(ASTM:D5333-92): نمونه خاک با رطوبت طبیعی به گونه ای متناسب با حلقه آزمایش تحکیم (ASTM D2435) تراشیده و آماده می گردد. گام های بارگذاری بر طبق استاندارد برابر ۱۲، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ کیلو پاسگال بوده و پیش از اشباع نمونه فاصله زمانی بین گام های بارگذاری برابر یک ساعت در نظر گرفته شده است. پس از رسیدن به تنش ۲۰۰ کیلو پاسگال و گذشت ۱ ساعت نمونه غرقاب شده و در فواصل زمانی تقریبی ۰/۱ و ۰/۲۵ و۰/۵ و۱ و ۲ و۴ و ۸ و ۱۵ و۳۰ دقیقه و ۱ و ۲و ۴و ۸ و۲۴ ساعت بر طبق استاندارد قرائت انجام گردید که با توجه به جدول زیر (جینگ و نایت در سال ۱۹۷۵ میلادی) نتایجی بر اساس درصدهای مختلف سیمان و آهک بدست آمده است.

جدول ۲- تغییرات رمبندگی خاک

شدت مشکل	پتانسیل فروریزی(٪)
مشکلی ندارد (No Problem)	۰ – ۱
تا حدی مسئله دار(Moderate trouble)	۱ – ۵
مسئله دار(Trouble)	۵ – ۱۰
شدیداً مسئله دار(Severe trouble)	۱۰ – ۲۰
بسیار شدید مسئله دار(Very severe trouble)	۲۰

نتایج حاصل شده از این آزمایش نشان می دهد خاک تثبیت شده با آهک و سیمان سبب تغییر در میزان رمبندگی شده و در اکثر آزمایشات مشکل رمبندگی مربوط به این خاکها حل شده و تقریباً هر اندازه میزان مصرف مصالح بیشتر شده اثر مثبت داشته ولی نرخ تأثیر این نتایج در میزان رمبندگی با افزایش مصالح متفاوت می باشد. توجه شود برای انجام این آزمایش میزان رطوبت ثابت فرض شده و مقدار آن ٪۱۴/۵ بوده و برای بعضی از نمونه ها وزن مخصوص در محل و وزن مخصوص خشک حداکثر در نظر گرفته شده است.

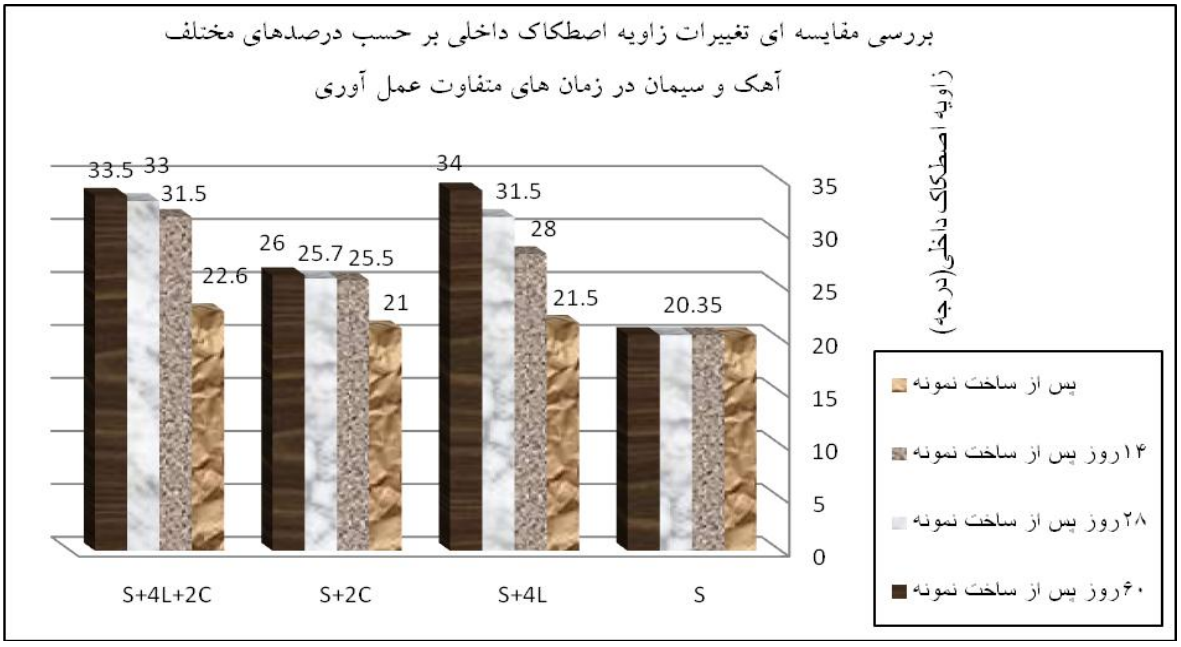
آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده (ASTM: D2166): نمونه‌های استوانه‌ای ساخته شده با درصدهای آهک و سیمان موردنظر در این آزمایش دارای قطر ۳/۸ سانتیمتر و ارتفاع حدود ۸/۵ سانتیمتر بوده و سرعت حرکت دستگاه ۱ میلیمتر بر دقیقه انتخاب گردید. بعد از رسیدن نمونه به سن موردنظر، آن را از داخل نایلونها خارج نموده، ابعادش را دقیقاً اندازه‌گیری کرده و به زیر فک‌های دستگاه منتقل می‌نمائیم. این نکته اهمیت دارد که آزمایش در همان رطوبت اولیه نمونه انجام می‌گیرد و نباید تغییری در رطوبت آن ایجاد شده یا نمونه اشباع شود و نمونه‌ها باید بعد از هر آزمایش در گرمخانه خشک می‌شوند تا رطوبتشان کنترل گردد.

www.SID.ir

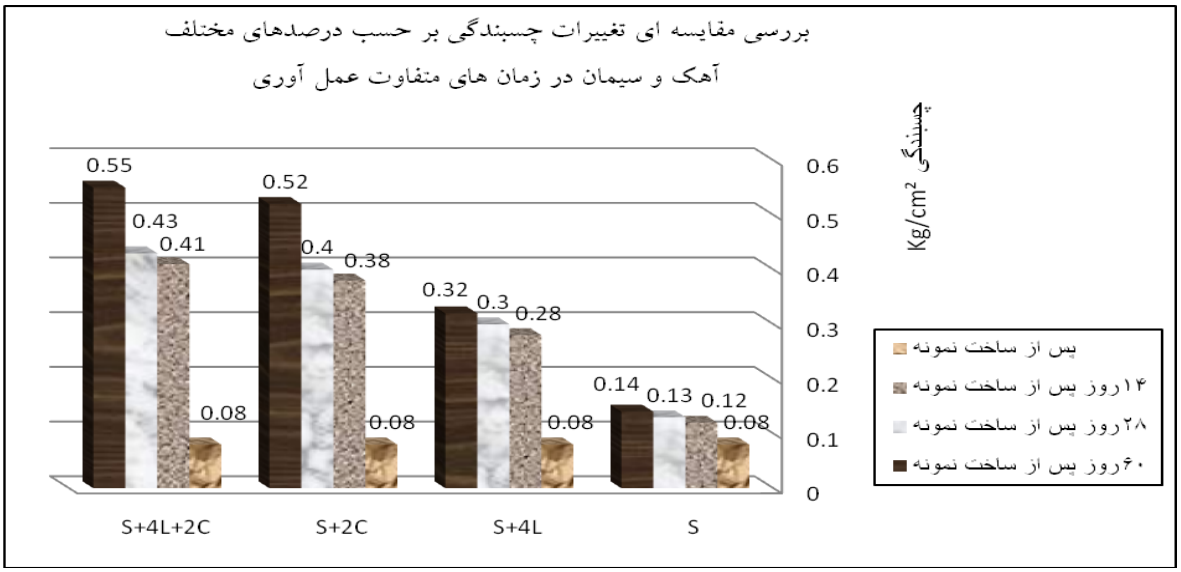
Archive of SID

در اثر اضافه نمودن مواد شیمیایی به خاک واکنشهای مختلفی به وجود می آید که از جمله این واکنش ها که بر روی مقاومت و دوام خاک تأثیر عمده ای دارند می توان به هیدراتاسیون اشاره کرد. مهمترین خصوصیت مورد نظر در اثر تثبیت خاک های ریز دانه یا دانه ای با مواد تثبیت کننده سیمانی، افزایش مقاومت با زمان است. در حالت کلی این مقاومت ها با پا رامتر هایی نظیر مقاومت تک محوری بیان می شوند. با افزایش درصد آهک و زمان عمل آوری مقاومت تک محوری نمونه ها افزایش می یابد بطوریکه نرخ تغییرات مقاومت تک محوری در ۱۴ روز اول اصلاح بیشتر از نرخ تغییرات بعد از ۱۴ روز می باشد.

آزمایش برش مستقیم(ASTM:D3080-90): در این آزمایش تغییرات زاویه برش حداکثر در ترکیبات مختلف خاک با سیمان و آهک، نسبت به زمان عمل آوردن مورد بررسی قرار گرفت بطوریکه پس از ساخت نمونه ها با درصدهای مورد نظر آهک و سیمان و قرار دادن آنها در دستگاه برش سرعت حرکت دستگاه ۱ میلیمتر بر دقیقه انتخاب گردیده و تنش قائم وارده تحت سه بار ۱ و ۱/۵ و ۲/۵ کیلوگرم اندازه گیری و در نتیجه یافته هایی به شرح نمودارهای زیر بدست آمد:



نمودار ۱



نمودار ۲

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی ها نشان می دهد که افزایش مقدار آهک، تغییر چندان زیادی در میزان زاویه اصطکاک داخلی نسبت به چسبندگی نمی گذارد ولی با این وجود مقادیر هر دو افزایش می یابد بطوریکه پس از گذشت ۲۸ روز از ساخت نمونه ها چسبندگی به مقدار چهار برابر افزایش داشته و میزان اصطکاک داخلی نیزدر حداکثر مقدار خود ۱۰درجه افزایش نشان می دهد که این امر نیز موجب افزایش مقاومت برشی در این خاکها می گردد.

افزایش مقادیر سیمان، تغییر چندان زیادی در میزان زاویه اصطکاک داخلی نسبت به چسبندگی نمی گذارد ولی با وجود این، مقادیر هر دو افزایش می یابد همچنین می توان گفت که اثر افزایش سیمان تأ ثیر بیشتری در پارامتر های برشی در همان میزان درصد آهک دارد که این نتایج را می توان با مقایسه ترکیبات آهک تنها و سیمان تنها در نمودارها مشاهده نمود.

زاویه اصطکاک خاک مخلوط شده با آهک و سیمان تقریباً همواره بیشتر از حداکثر زاویه اصطکاک و چسبندگی خاک طبیعی می باشد لذا همیشه می توان با اطمینان خاطر از آهک و سیمان استفاده کرد و مطمئن بود که مقاومت برشی خاک افزایش می یابد ولی با توجه به مطالعات انجام شده باید توجه داشت که افزایش زیادتر سیمان تغییر بسیار زیادی در پارامترهای مقاومت برشی خاک ایجاد نمی کند بنابراین افزایش بیش از ۲٪ سیمان کمی غیراقتصادی به نظر می رسد.

۴. بحث و نتیجه گیری

به منظور افزایش پارامترهای مقاومتی خاک ها تا کنون روش های مختلفی نظیر تثبیت خاک به روش های بیولوژیکی، تثبیت خاک بوسیله قیر و فرآورده های قیری، تثبیت خاک با خاکستر و آهک، تثبیت خاک با آهک و قیر، تثبیت خاک با سیمان و قیر و تثبیت کردن خاک با استفاده از مواد پلیمری در جهان توسط دانشمندان بررسی و مورد استفاده قرار گرفته شده که هریک با توجه به نوع استفاده و کاربرد خود دارای ویژگی ها و نقایصی بوده اند(ISBN, 1993)، به عنوان مثال روش تثبیت بیولوژیکی که شامل رویاندن گیاهان می باشد اغلب به منظور مقاوم و پایدار کردن شیب های در معرض لغزش و یا افزایش مقاومت خاک در مقابل سایش و فرسایش و شسته شدن در برابر باران و آب های سطحی به کار می رود و یا روش تثبیت با قیر و فرآورده های قیری که تنها برای خاکهایی با درصد ریزدانه ۲۵ و دامنه خمیری ۱۰ کاربرد دارد، علاوه بر این، بعضی از استانداردها، هم ارز ماسه ای و حاصل ضرب دامنه خمیری و درصد رد شده از الک ۲۰۰ را برای خاک های قابل تثبیت با قیر به ترتیب به ۳۰ و ۷۲ محدود می کنند. همچنین استفاده از دیگر ترکیبات مرکب قیر-سیمان و قیر-آهک جهت تثبیت خاکها بیشتر در مواردی کاربرد دارد که سرعت رسیدن به مقاومت لازم در خاک مد نظر باشد که در غیر اینصورت در کشور ایران استفاده از قیر و فرآورده های آن در مقایسه با دیگر تثبیت کننده ها توجیه اقتصادی مناسبی نخواهد داشت. در مقایسه روش های مذکور تثبیت خاک با روش بررسی شده در این مقاله، می توان گفت روش تثبیت خاک با استفاده آهک و سیمان روشی مناسبتر و کاربردی تر به لحاظ فنی،اقتصادی و در دسترس بودن مصالح با توجه به نتایج بدست آمده در زیر می باشد: (Barden, 1973. Grabowska, 1988. Bell, 1983)

- باافزایش درصد سیمان و آهک و ترکیب آن دو به خاک حد روانی کاهش می یابد. که این کاهش در ترکیب توأم سیمان و آهک به خاک در مقایسه با اثر سیمان و آهک بطور جداگانه کاملاً مشهود می باشدو همچنین با افزایش درصد سیمان و آهک و ترکیب توأم سیمان و آهک نشانه خمیری همانند حد روانی کاهش یافت، بنحوی که در بعضی از ترکیبها خاک کاملاًغیرخمیری شد.
- هر اندازه درصد رطوبت اولیه خاک بیشتر باشد پتانسیل رمبندگی خاک کمتر می شود زیرا در اثر مرطوب شدن، پیوندهای بین ذرات سست تر و در نتیجه در اثر مرطوب شدن بیشتر، این خاک ها درصد رمبندگی کمتری نسبت به خاکهای با رطوبت اولیه کمتر از خود نشان می دهد.
- نتایج حاصل از آزمایشات تک محوری بیانگر تأثیر بیشتر سیمان در افزایش مقاومت تک محوری در مقایسه با آهک می باشد که این افزایش نشان از تأثیر بسیار زیاد افزودنیها بر روی مقاومت می باشد. افزایش مقاومت تک محوری نمونه های تثبیت شده را می توان به واکنش هیدراتاسیون نسبت داد.
- همچنین با بررسی سربارهای گوناگون روی خاکهای رمبنده نتیجه شد هرچه میزان سربار قائم افزوده شود میزان پتانسیل رمبندگی افزوده شده ولی مقدار این افزایش پتانسیل برای نمونه ۲۸ روزه به مراتب کوچکتر از نمونه ۱ روزه می باشد که نشان از تأثیر زمان عمل آوری روی نمونه ها دارد.
- بررسی نمونه های ترکیب شده با سیمان نشان می دهد که تأثیر افزودن سیمان به نمونه خاک در کاهش پتانسیل رمبندگی بیشتر است، که این اثر بدلیل تأثیر بیشتر سیمان در واکنش با خاک و تبادل یونی و تبدیل بیشتر خاک به بافت دانه ای است.
- بررسی حاصل از آزمایشات برش مستقیم نشان داد که افزایش آهک به خاک پس از ساخت نمونه تغییرات چندانی در چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی نمی گذارد، (باعث افزایش نسبی کمی در هر دو مشخصه می گردد) اما پس از گذشت ۲۸ روز از ساخت و عمل آوری نمونه ها، چسبندگی افزایش قابل ملاحظه ای را نشان می دهد و زاویه اصطکاک نیز افزایش نسبی کمی را نشان می دهد. همچنین در صورت افزودن سیمان تنها به خاک

www.SID.ir

Archive of SID

رمبنده تحت اثر بارگذاری آنی تغییر چندانی در زاویه اصطکاک و افزایش چسبندگی نداریم. (چسبندگی افزایش نسبی کمی دارد) اما پس از۲۸ روز از زمان ساخت و عمل آوری نمونه ها شاهد افزایش در چسبندگی به میزان ۴ برابر و افزایش زاویه اصطکاک داخلی به میزان حداکثر ۱۰ درجه می باشیم.

▪با انجام آزمایش تحکیم روی نمونه های ترکیب شده تحت سر بار ثابت با آهک ملاحظه شد که پتانسیل رمبندگی بلافاصله پس از ساخت نمونه تغییر چندانی را نشان نمی دهد، در صورتی که پس از ۲۸ روز از ساخت و عمل آوری نمونه ها در میزان پتانسیل رمبندگی کاهش ملاحظه شده است. نرخ کاهش رمبندگی در ۴٪ آهک بیشترین مقدار را دارد.

۵. مراجع

۱.پاشایی، ع. ۱۳۷۶. بررسی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی و چگونگی خاستگاه رسوبهای لسی در منطقه گرگان و دشت، شماره ۲۳-۲۴، صفحه ۷۸-۶۷ .

۲.خواجه، م. ۱۳۸۱. بررسی رسوب شناسی، محیط رسوبی و رسوب زایی نهشته های کوارترنر حوضه گرگان رود. رساله دکتری زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، صفحه ۲۵۰ .

3. Barden, L, Mc Gown And Collins. K. the collapse MECHANISM In partly saturated soil. Eng Geology, N07, (1973), pp. 49-60.
4. Bell- F.G. Eng. Properties of soils and rocks Butter worth & co. Ltd(1983).
5. Clemencc, S.p. and Finharr, A.O., “Design consideration for collapsible soils,” Journal of the Geotechnical Engineers Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 107, No. GT3, Mar. 1981, pp
6. Clevenger, W.A., “Experiences with bess as foundation material”, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers Jul. 1959, paper .1025
7. Grabowska, B-olsze wska. Eng, Geological problems of loess in Poland Eng. Geology- vol 125, No S. 2-4,(1988) pp. 177-19928)
8. Houston, S.L. and El - Ehwany, M. ”Sample disturbance of cemented collapsible soils” , Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 5, May. 1991, pp. 731 - 752.
9. ISBN: O- 408-01457-1 Annual Book of ASTM Standards"Standard test method for measurement o collapse potential of soils”, Vol.1993
10. Stahculescu, I., “Active zone settlemant of shallow foundations on loessial soils”, Proceedings of the 5th Australia - Newzealand Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Aucland, Newzealand, 1967.

www.SID.ir