تحقیقات بتن
سال دهم، شمارهٔ دوّم
تابستان ۹۶
ص ۶۷ – ۵۹
تاریخ دریافت: ۹۵/ ۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۲۵

بررسی اثر زئولیت طبیعی بر خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک های انبساطی تثبیت شده با سیمان

احمد باغانی *
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری
حسین بخشی
دانشجو استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری
مهراله رخشانی مهر
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه الزهرا (س)

چکیده
خاک‌های انبساطی به عنوان یک چالش عمومی به ویژه برای مهندسین عمران محسوب می‌گردد. این قبیل خاک‌ها با جذب آب دچار آماس و موقع خشک شدن منقبض می‌شوند و خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی آنها تغییر می‌کند. معمولی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای جلوگیری از تغییرات حجم این خاک‌ها استفاده از مواد افزودنی است. تغییر، بهبود و بهینه کردن خواص و ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک با استفاده از مواد افزودنی همواره مورد توجه بوده است. در این تحقیق اثر دو نوع ماده افزودنی سیمان و زئولیت بررسی می‌گردد. اثر مواد افزودنی سیمان درسطح ۳ درصد و زئولیت طبیعی در سطح ۴، ۸ و ۱۲ درصد بر خصوصیات فیزیکی شامل درصد و فشار آماس و خصوصیات هیدرولیکی شامل ضریب جذب آب در خاک بررسی می‌شود. نتایج حاصل نشان می‌دهد افزودن مخلوط زئولیت و سیمان به خاک در مقادیر مختلف روی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی نمونه‌های خاک بطور متفاوتی اثر می‌گذارد. بطور کلی افزودن مخلوط زئولیت و سیمان به خاک در مقادیر مختلف باعث کاهش درصد و فشار آماس می‌گردد. افزودن زئولیت و سیمان به نمونه‌های خاک باعث کاهش ضریب جذب آب در خاک می‌گردد. بیشترین کاهش مربوط به کاربرد ۸ درصدو کاربرد سیمان در سطح ۳ درصددیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **سیمان، زئولیت، خاک‌های انبساطی، آماس، ضریب جذب.**

* نویسنده مسئول: baghani_1347@yahoo.com

۱- مقدمه

به جهت استفاده زیاد از خاک به عنوان ماده ای که اکثر سازه های مهندسی بر روی آن و یا درون آن احداث می شود اطلاعات دقیق از ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی آن بسیار حائز اهمیت می‌باشد. خاک‌هایی که خاصیت پراکنده شدن و تمایل به گسترش‌پذیری دارند در بسیاری از سازه‌های مهندسی ایجاد مشکل می‌کنند و به عنوان خاک‌های انبساطی شناخته می‌شوند. این نوع خاک‌ها به جهت اینکه خسارات بسیاری را به سازه‌های مهندسی نظیر سدهای خاکی، سازه‌های انتقال آب، کانال‌های آبیاری زهکشی، دیوارهای حائل، ساختمان‌های کوچک، تونل‌ها، بزرگراه‌ها، جاده‌ها و سنگ فرش‌ها را باعث می‌شوند به عنوان یک مشکل بزرگ در سرتاسر جهان محسوب می‌شود[۱]. گزارشات زیادی از کشورهای مختلف مبنی بر خسارات وارده به سازه‌های مهندسی در پی استفاده از این نوع خاک‌ها وجود دارد ولی بطور کلی در نواحی خشک و نیمه خشک استفاده از این نوع خاک‌ها مشکلات جدی‌تری را به دنبال دارد[۲]. با این وجود این خاک‌ها در بسیاری از پروژه‌های مهندسی عمران و دفن پسماندهای شهری، صنعتی و رادیو اکتیو بکار برده می‌شوند [۳، ۴، ۵]. متوسط خسارات ایجاد شده توسط این خاک‌ها در ایالات متحده آمریکا سالانه ۹ بیلیون دلار برآورد شده است که این مقدار از متوسط خسارات ناشی از حوادث طبیعی مثل زلزله، تندبادها، سیل‌ها و آتشفشان‌ها بیشتر است [۶]. همچنین انجمن مهندسین عمران آمریکا ($ASCE$) یک چهارم خسارات وارده به خانه‌ها و ساختمان‌ها را ناشی از استفاده از خاک‌های آماس شونده می‌داند. فرآیند جذب آب توسط این خاک‌ها باعث آماس و از دست دادن آب باعث انقباض آن می‌شود. بنابراین توجه و اصلاح این خاک‌ها در کاربرد و بهره گیری از آن‌ها در سازه‌ها مهم می‌باشد. برای سالیان زیاد تحقیقات متعدد و فراگیری جهت اصلاح و بهبود این خاک‌ها با استفاده از مواد افزودنی انجام گرفته است هر کدام اثرات مثبت مواد افزودنی را ارزیابی کرده‌اند. در مطالعات جامع پیشین مواد افزودنی آهک، سیمان، پسماندهای صنعتی، گچ، منیزیم کلراید و خاکستر استفاده شده است[۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱]. تحقیقات انجام شده روی زئولیت با ویژگی‌های پوزولانی که در بیشتر مناطق استفاده می‌شود روی استفاده از آن در افزایش مقاومت بتن متمرکز شده است [۱۲]. استفاده از درصدی از زئولیت و میکروسیلیس به جای سیمان بر بتن مقاومت فشاری و الکتریکی نمونه ها را افزایش و ضریب جذب آب را در خاک را کاهش می‌دهد[۱۳]. بیشترین استفاده از زئولیت در صنعت سیمان و بتن در چین گزارش شده است و در سال‌های اخیر استفاده از آن در ایران نیز رشد فراوانی داشته است[۱۴]. زئولیت‌ها گروهی از مواد معدنی هستند که در حال حاضر بیش از چهل نوع از آنها وجود دارد و به عنوان بزرگترین گروه مواد معدنی سیلیکاته شناخته می‌شوند[۱۵]. زئولیت‌ها در کاربردهای زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنها می‌توانند همانند غربال عمل کرده و به دلیل داشتن خصوصیات تبادل یونی، ساختار کریستالی و متخلل، جاذب آب و وزن سبک نقش اصلاح کنندگی خاک را ایفا کنند[۱۶، ۱۷]. زئولیت بطور مکانیکی باعث تثبیت مواد بکار برده شده برای کاربردهای خاکریزی می‌شود[۱۸]. افزودن مخلوط سیمان و زئولیت به خاک‌های رسی انبساطی باعث بهبود پراکنده شدن ذرات و افزایش مقاومت آن می‌گردد[۱۹]. تاثیر افزودنی‌ها به خاک‌های انبساطی روی خصوصیت آماس پذیری آنها کاملا قابل تشخیص و باعث کاهش آماس خاک می‌شوند [۲۰]. ماده افزودنی آهک با تغییر ساختمان ذرات خاک باعث افزایش مقاومت خاک به آماس و منقبض شدن می‌گردد [۲۱]. در این تحقیق نیز اثر کاربرد زئولیت طبیعی در سطوح صفر، ۴، ۸ و ۱۲ درصدو سیمان در سطح ۳ درصد با هدف تسبت زئولیت در خاک بر خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی سه نوع بافت مختلف خاک ارزیابی شد. خصوصیات فیزیکی شامل پتاسیل آماس و فشار آماس و خصوصیات هیدرولیکی شامل ضریب جذب(s) آب محاسبه شد. فیلیپ (۱۹۵۷)، پارامتر ضریب جذب(s) را به عنوان ظرفیت متوسطی از جذب یا دفع آب توسط نیروهای کاپیلاری در خاک تعریف کرد[۲۲]. فیلیپ (۱۹۶۹)، نشان داد ضریب جذب در حالت نفوذ افقی با توجه به معادله $I = s\,t^{1/2}$ که در آن s ضریب جذب و I نفوذ تجمعی(مقدار آب جذب شده توسط خاک) در زمان t می‌باشد بدست می‌آید[۲۳].

۲- مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در این تحقیق خاک، آب، سیمان و زئولیت طبیعی بود. روش استاندارد ASTM(04-833000-30) در حین آماده سازی نمونه‌ها و انجام آزمایشات بکار گرفته شد. تمامی نمونه ها در دمای آزمایشگاه نگهداری و برای هر نمونه به تعداد مورد نیاز برای انجام آزمایش در سطح سه تکرار تهیه گردید. برای شناسایی

خصوصیات نمونه‌ها، نمونه‌ها بر طبق استاندارد *USCS* طبقه بندی شدند. این تحقیق در آزمایشگاه و پس از اختلاط نمونه‌های خاک با مقادیر مختلف زئولیت صفر، ۴، ۸ و ۱۲ درصد و سیمان در کاربرد ۳ درصد، برای محاسبه خاصیت آماس پذیری و ضریب جذب آب در سه تکرار(به جهت دقت بیشتر در نتایج آزمایش) انجام شد. خواص فیزیکی خاک‌ها در جدول ۱ آورده شده است. قبل از انجام آزمایش نمونه‌های خاک در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانیگراد خشک و برای یکنواختی مناسب از الک ۲ میلیمتر عبور داده شد. مقادیر مختلف زئولیت در بازه ی صفر، ۴، ۸ و ۱۲ درصد و سیمان به مقدار ۳ درصد با خاک خشک مخلوط شد. تمامی‌نمونه‌ها (اختلاط خاک، سیمان و زئولیت) بصورت دستی آماده و توجه ویژه در هر مرحله به سبب بدست آوردن یک نمونه همگن شد. آزمایش درصد آماس طبق استاندارد *ASTM D4546* توسط دستگاه ادومتر انجام شد[۲۴]. آزمایش فشار آماس نیز مطابق روش *A*ارائه شده توسط[۲۵] انجام شد. مطابق این روش پس از آماس کامل نمونه بر روی نمونه بارگذاری صورت می‌گیرد تا نمونه به ارتفاع اولیه خود برسد پس از اینکه نمونه تحت هر بار به تعادل رسیدزمان طی شده از ابتدای آزمایش محاسبه و بارگذاری بعدی اعمال می‌شود. با رسم نمودار تغییرات ارتفاع در برابر فشار، مقدار بارگذاری که برای رساندن ارتفاع نمونه به مقدار اولیه انجام شده است فشار آماس خوانده می‌شود. ضریب جذب آب نیز با استفاده از آزمایش نفوذ افقی و استفاده از رابطه گزارش شده توسط فیلیپ (۱۹۶۹) بدست آمد. برای انجام این آزمایش از یک استوانه شفاف از جنس پلکسی گلاس با قطر داخلی ۶/۴ سانتی متر، طول ۲۱ سانتی متر و ضخامت دیواره ۴ میلی متر استفاده شد. با استفاده از قیف و لوله، برای یکنواختی بیشتر خاک عبور کرده از الک ۲ میلی متر درون استوانه ریخته شد. هر بار پس از اضافه کردن خاک در هر لایه درون لوله با زدن چند ضربه به انتهای لوله سعی شد تا خاک متراکم گردد. برای تامین آب از بطری ماریوت استفاده شد ورودی آب به وسط ستون خاک هم سطح با انتهای لوله ی هوا در بطری ماریوت برای ایجاد شرایط مکش صفر در نظر گرفته شد. همزمان با ورود آب به ستون خاک زمان رسیدن جبهه ی آب به طور میانگین به وسط هر حلقه یادداشت گردید در این زمان حجم آب خروجی از بطری ماریوت تعیین شد و حجم آب ورودی به ستون خاک در طی زمان‌های مختلف بدست آمد. قابل ذکر است که برای‌اندازه گیری دقیق‌تر، بطری ماریوت در حین انجام آزمایش روی‌ترازو قرار گرفت و حجم آب خروجی از بطری ماریوت از طریق کاهش وزن بطری ماریوت بدست آمد. در نهایت باترسیم مقدار نفوذ تجمعی در مقابل جذر زمان‌های مختلف شیب معادله بدست آمده به عنوان ضریب جذب آب در خاک بدست آمد. در شکل ۱ تصاویری از مراحل انجام آزمایش ارائه شده است.

۳- نتایج و بحث

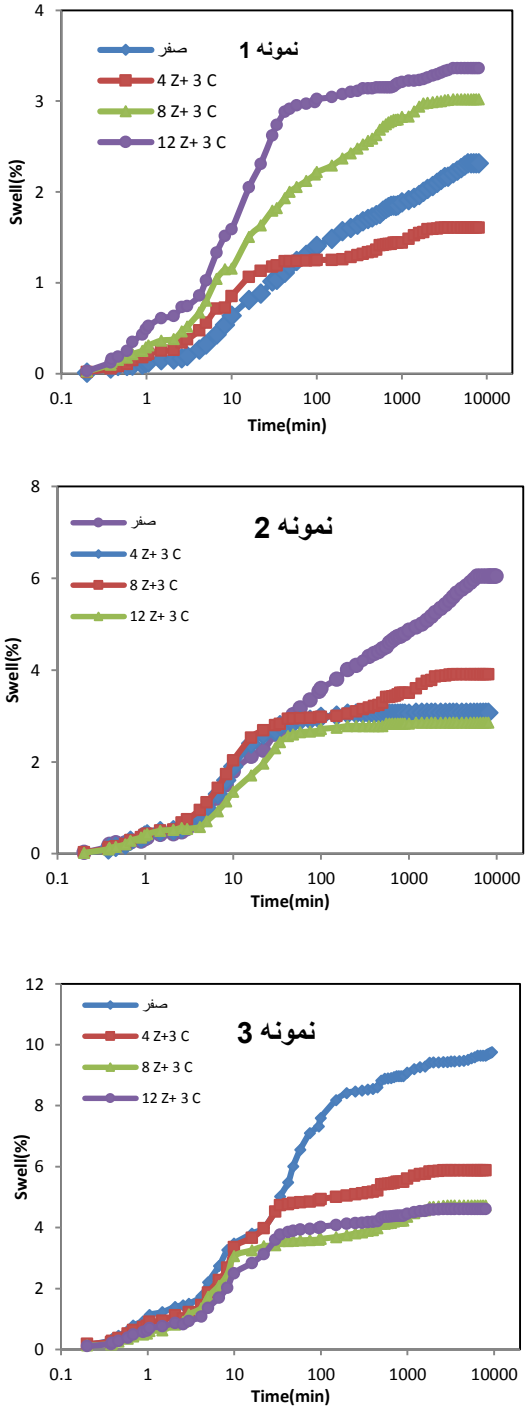
در این تحقیق مقادیر مختلف درصد آماس خاک بر طبق آزمایشات انجام گرفته در نمونه خاک‌های مختلف و با مقادیر مختلف مواد افزودنی بدست آمد. نتایج بدست آمده از ارتباط درصد آماس خاک در زمان‌های مختلف در شکل ۲ آمده است. مقادیر درصد آماس در زمان های مختلف و تا زمانی که افزایش حجم خاک در نتیجه افزایش آماس خاک ثابت شد اندازه گیری شد.

شکل ۱ – نمونه تصاویر از مراحل انجام آزمایش

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد آزمایش

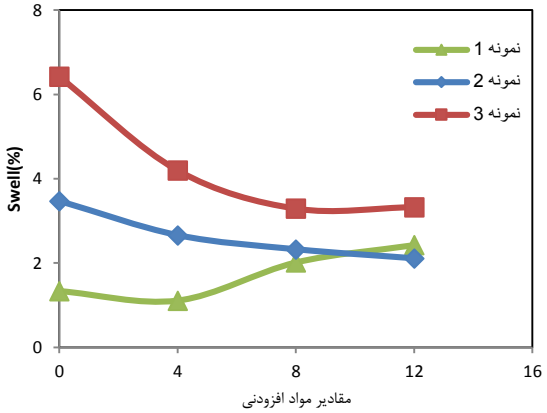
نمونه	بافت خاک	شن و ماسه (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	چگالی ظاهری خاک (g/cm^3)	شاخص پلاستیسیته(٪)	حد روانی(٪)	میانگین قطر ذرات خاک (mm)
۱	CL	۲۵	۴۲	۳۲	۱/۲۹	۱۰	۴۶	۰/۱۰۰۳
۲	CH	۱۳	۳۴	۵۳	۱/۱۵	۳۲	۶۲	۰/۰۳۴۰
۳	MH	۱۰/۶	۵۵/۴	۳۴	۱/۰۷	۳۰	۶۸	۰/۰۰۷۲

در تحقیقی با برازش مقادیر رس در مقابل شاخص پلاستیسیته خاک، مقادیر بالای ۳۵ را به عنوان بسیار زیاد، بین ۳۵-۲۹ را زیاد، ۳۵-۱۰ را میانه و مقادیر بین ۱۵-۰ به عنوان مقادیر پایین پتاسیل آماس طبقه بندی کردند[۲۶ و ۲۷]. طبق این تقسیم بندی و جدول ۱ نمونه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب دارای پتاسیل آماس پایین، بسیار زیاد و بسیار زیاد می‌باشند. نتایج بدست آمده آزمایشات از ارتباط بین درصد آماس در مقابل زمان بر روی نمونه‌ها (شکل ۲) مقادیر بالاتر پتاسیل آماس نمونه‌های ۲ و ۳ را نسبت به نمونه ۱ نشان داده است. قابل ذکر است شاخص درصد پلاستیسیته و نوع خاک بین سه نمونه خاک متغییر می باشد. اثر مواد افزودنی سیمان و زئولیت در مقادیر مختلف کاربرد آنها بر روی نمونه خاک‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از این نمودار نشان می‌دهد افزودن مقادیرترکیب سیمان و زئولیت به خاک (نمونه ۱) تا حدی (کاربرد ۴ گرم زئولیت و ۳ گرم سیمان) باعث کاهش درصد آماس خاک می‌شود و افزایش بیشتر از آن افزایش درصد آماس خاک را منجر می‌شود. بنابراین می‌توان گفت افزودن زئولیت به این خاک باعث تغیراندازه ذرات خاک شده است زیرا زئولیت ها با ساختار رسی بودن خود و اندازه ذرات و دانه بندی منظم عملکرد متفاوتی در خاک ها دارند و در خاک های رسی با افزودن به خاک تا حدی، تعداد منافذ ریز خاک را افزایش داده و باعث بهبود شرایط هیدرولیکی خاک ها می شوند و افزایش آن از حدی به بعد موجب شده است خاک خاصیت رسی بودن آن افزایش یابد و نتیجتا افزایش درصد آماس خاک را در پی دارد. افزودن‌ترکیب سیمان و زئولیت به خاک نمونه ۲ باعث کاهش مقادیر درصد آماس خاک شده است. بطوریکه بیشترین کاهش مربوط به کاربرد ۱۲ گرم زئولیت و ۳ گرم سیمان بوده است. مقایسه مقادیر مختلف مواد افزودنی بر نمونه خاک ۳ نشان می‌دهد با افزایش مقادیر روند کاهشی در مقادیر درصد آماس بدست آمده است بطوریکه بیشترین کاهش درصد آماس خاک در کاربرد ۱۲ گرم زئولیت و



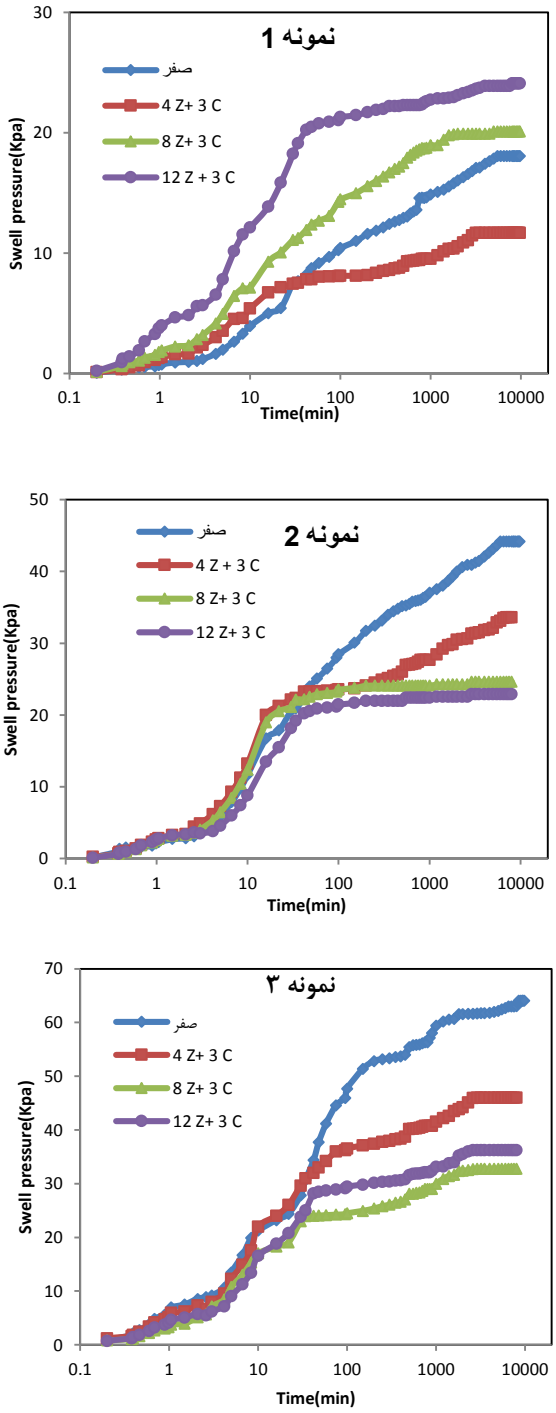
شکل ۲- ارتباط بین درصد آماس در مقابل زمان برای نمونه‌های مختلف و مقادیر مختلف مواد افزودنی(زئولیت(Z) . سیمان(C))

۳ گرم سیمان مشاهده ی شود. در شکل ۴ نیز اثرترکیب مقادیر مختلف زئولیت و سیمان بر فشار آماس نمونه‌های مختلف خاک نشان داده شده است.



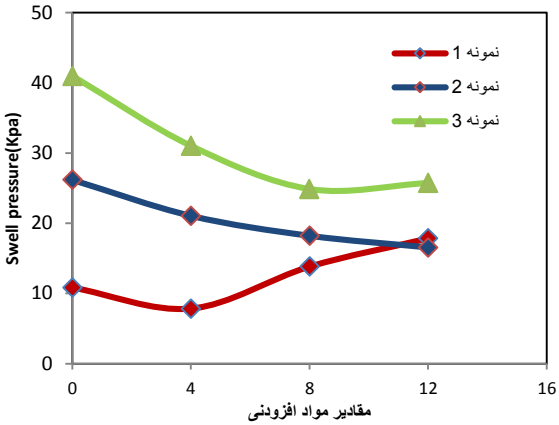
شکل ۳- مقایسه اثر مقادیر مختلف مواد افزودنی بر درصد آماس خاک در نمونه‌های مختلف

در این تحقیق اثر زئولیت بر مقدار فشار متناظر با افزایش حجم خاک ارزیابی شد. بطوریکه مقدار فشار آماس نمونه ها در زمان های مختلف و در طی زمان نهایی آزمایش، زمانی که افزایش حجم نمونه ها ثابت شد بدست آمد. نتایج بدست آمده از مقادیر فشار آماس در شکل ۴ نشان می‌دهد در ابتدای آزمایش مقادیر فشار آماس نمونه‌ها با افزودن زئولیت بیشتر از نمونه های بدون مواد افزودنی است و با گذشت زمان ترکیب زئولیت و سیمان به خاک مقدار فشار آماس در خاک را کاهش داده است. آنالیز داده‌های بدست آمده از فشار آماس نمونه ۱ نشان می‌دهد بیشترین کاهش فشار آماس با کاربرد مقدار ۴ گرم زئولیت و ۳ گرم سیمان رخ داده است. افزایش مواد افزودنی به ۸ و ۱۲ درصدمقدار فشار آماس را افزایش داده است. نتایج بدست آمده از فشار آماس در نمونه ۲ نشان می‌دهد که افزودن مواد افزودنی به خاک باعث کاهش چشمگیر فشار آماس شده است و یک روند کاهش با افزایش مقادیر را نشان داده است بطوریکه کمترین مقدار در کاربرد ۱۲ گرم زئولیت و ۳ گرم سیمان مشاهده می‌شود. در نمونه ۳ بیشترین کاهش فشار آماس مربوط به کاربرد ۸ گرم زئولیت و ۳ گرم سیمان مشاهده می‌شود و افزودن مقادیر مواد افزودنی باعث افزایش فشار آماس شده است. در شکل ۵ نحوه تغییرات فشار آماس با کاربرد مقادیر مختلف مواد افزودنی برای سه نمونه خاک نشان داده شده است.



شکل ۴- مقایسه اثر مقادیر مختلف مواد افزودنی بر فشار آماس خاک در نمونه‌های مختلف(زئولیت(Z) . سیمان(C))

افزودن مواد افزودنی به خاک نظیر زئولیت‌ها علاوه بر تغییر خواص فیزیکی خاک‌ها خواص هیدرولیکی خاک را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. بررسی نحوه حرکت آب در خاک نیازمند اطلاعات دقیق از ویژگی‌های هیدرولیکی خاک می‌باشد. ضریب جذب یکی از مهمترین خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌باشد [۲۸].



شکل ۵- مقایسه اثر مقادیر مختلف مواد افزودنی بر فشار آماس خاک در نمونه‌های مختلف

در این تحقیق ضریب جذب آب در خاک تحت مقادیر مختلف مواد افزودنی زئولیت و سیمان با آزمایش نفوذ افقی گزارش شده توسط فیلیپ (۱۹۶۹) در طی سه تکرار انجام آزمایش بدست آمد. نتایج بدست آمده در جدول ۲ آورده شده و با استفاده از نرم افزار آماری *SAS* مورد مقایسه قرار گرفته است. شکل ۶ نحوه بدست آمدن ضریب جذب آب با استفاده از آزمایش نفوذ افقی در نمونه ۱ با مقدار ۰ گرم زئولیت و ۰ گرم سیمان نشان داده شده است. در این شکل به کمک معادله فیلیپ (۱۹۶۹) و استفاده از رابطه بین نفوذ تجمعی(حسب سانتی‌متر) و جذر زمان(حسب دقیقه) ضریب جذب آب در خاک بدست آمده است. ضریب جذب آب در خاک برای خاک‌ها و تیمارهای مختلف زئولیت و سیمان در سه تکرار بدست آمد.

نتایج مقایسه میانگین ضرایب جذب بدست آمده در جدول ۲ برای خاک‌ها و مقادیر مختلف زئولیت ارائه شده است.

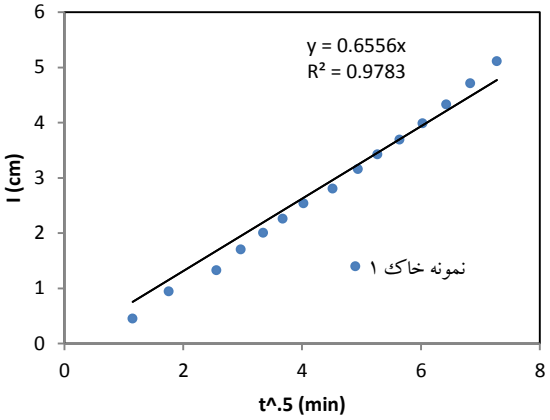
جدول ۲- مقایسه میانگین ضریب جذب آب(s) در خاک حسب سانتی متر بر جذر دقیقه در نمونه‌های خاک

نمونه ۳	نمونه ۲	نمونه ۱	مقادیر مواد افزودنی(*g/kg*)
۰/۶۸*A*	۰/۸۵*A*	۰/۶۵*A**	۰
۰/۵۸*B*	۰/۷۳*B*	۰/۶۱*B*	۴گرم زئولیت و ۳ گرم سیمان
۰/۵۰*C*	۰/۶۲*C*	۰/۵۴*C*	۸گرم زئولیت و ۳ گرم سیمان
۰/۵۴*BC*	۰/۸۱*A*	۰/۵۱*C*	۱۲گرم زئولیت و ۳ گرم سیمان

* مقایسه میانگین مقادیر بدست آمده از نرم افزار و نشانه معنی داری و عدم معنی داری

نتایج نشان می‌دهد کاربرد زئولیت منجر به تغییر ضریب جذب آب در خاک برای هر سه نمونه خاک شده است. برای خاک نمونه ۱ کاربرد زئولیت و سیمان باعث کاهش ضریب جذب آب در خاک شده است بطوریکه بیشترین کاهش ضریب جذب آب در خاک مربوط به کاربرد ۱۲ درصد می‌باشد. برای خاک نمونه ۲ افزایش زئولیت به خاک تا حد ۸ درصد منجر به کاهش ضریب جذب آب در خاک شده است. افزایش زئولیت و سیمان به ۱۲ درصد ضریب جذب آب در خاک را افزایش داده بطوریکه بیشترین کاهش ضریب جذب آب در خاک مربوط به کاربرد ۱۲ درصد می‌باشد. برای خاک نمونه ۲ افزایش زئولیت به خاک تا حد ۸ درصد منجر به کاهش ضریب جذب آب در خاک شده است. افزایش زئولیت و سیمان به ۱۲ درصد ضریب جذب آب در خاک را افزایش داده است. کاهش ضریب جذب آب در خاک نتیجه بهبود ساختمان خاک می‌باشد. زئولیت ها با ساختار دانه بندی منظمی که دارند با افزودن به خاک منجر به تغییر ساختمان خاک می گردند بطوریکه در خاک های ریز دانه با افزایش تعداد منافذ ریز خاک باعث بهبود شرایط هیدرولیکی و افزایش هدایت هیدرولیکی و در خاک های درشت دانه نیز همانند خاک رس با افزایش منافذ ریز خاک باعث کاهش هدایت هیدرولیکی خاک می شوند. بنابراین می‌توان گفت افزایش زئولیت و سیمان به خاک برای خاک نمونه ۲ تا حد ۸ درصد طوری منافذ خاک را تغییر داده است که منجر به بهبود ساختمان خاک شده است و از آن به بعد افزایش زئولیت و سیمان باعث افزایش منافذ ریز خاک شده است که ضریب جذب آب در خاک افزایش یافته است. بطوریکه بیشترین کاهش ضریب جذب آب در خاک مربوط به کاربرد ۱۲ درصد می‌باشد. نتایج برای خاک نمونه ۳ نشان می‌دهد که افزودن زئولیت و سیمان به خاک منجر به کاهش ضریب جذب آب در خاک شده است بطوریکه بیشترین کاهش مربوط به کاربرد زئولیت ۸

درصدمی‌باشد. افزایش زئولیت از مقدار ۸ به ۱۲ درصدباعث افزایش ضریب جذب آب در خاک شده است ولی نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی داری طبق نتایج آنالیز آماری نرم افزار SAS مشاهده می‌شود.



شکل ۶- نحوه بدست آمدن ضریب جذب آب در خاک

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد مواد افزودنی به خاک خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک را تغییر می‌دهد و افزودن آن به خاک تا حدی باعث کاهش درصد و فشار آماس در نتیجا افزایش حجم نمونه خاک ها شد. خاک‌های با رس کمتر(نمونه ۱) تنها در کاربردهای پایین آن(کاربرد ۴ درصد زئولیت و ۳ درصد سیمان) باعث بهبود شرایط آماس و فشار آماس شد. افزایش بیشتر مواد افزودنی افزایش درصد آماس و فشار آماس را در پی داشت. بطور کلی می‌توان گفت با افزودن زئولیت و سیمان به خاک تغییرات درصد و فشار آماس خاک ها تا حدی باعث کاهش این مقادیر می‌شود و افزودن بیش از حد مقادیر مواد افزودنی باعث تشدید خاصیت رسی خاک و نهایتا افزایش آماس خاک را در پی دارد. بیشترین کاهش در خاک نمونه ۲ و ۳ مربوط به کاربرد ۱۲ و ۸ درصد و ۳ درصد سیمان به‌ترتیب بود. نتایج این تحقیق بر روی ضریب جذب آب در خاک نشان داد که اضافه نمودن زئولیت همراه با سیمان بر ضریب جذب آب در خاک اثر می‌گذارد. کاربرد زئولیت و سیمان ضریب جذب آب در خاک را در نمونه ۱ کاهش داد بطوریکه بیشترین کاهش ضریب جذب آب در خاک مربوط به کاربرد زئولیت ۱۲ درصد و سیمان در سطح ۳ درصد بود. برای خاک‌های نمونه ۲ و ۳ تا کاربرد ۸ درصد کاهش ضریب جذب و افزایش آن به مقدار زئولیت در سطح ۱۲ درصد و سیمان در سطح ۳ درصد برای این خاک‌ها باعث افزایش ضریب جذب آب در خاک شده است. با توجه به این نتایج می‌توان گفت افزایش کاربرد افزودنی‌ها تا حدی از کاربرد آن منجر به کاهش ضریب جذب(S) آب در خاک می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد این مقدار برابر ۸ گرم زئولیت بر کیلوگرم خاک می‌باشد.

۵- منابع

[1]. Nelson, J.D., D.J. Miller, 1992. Expansive soils: Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering. 1st ed., John Wiley and Sons. Inc, New York.
[2]. Tripathy, S., K.S.S. Rao, D.G. Fredlund, 2002. Water content-void ratio swell-shrink paths of compacted expansive soils. Canadian Geotechnical Journal, 39; 938-959.
[3]. Komine, H., N. Ogata, 1994. Experimental study on swelling characteristics of compacted bentonite. Canadian geotechnical journal, 31; 478-490.
[4]. Siddiqua, S., J. Blatz, G. Siemens, 2011. Evaluation of the impact of pore fluid chemistry on the hydro mechanical behavior of clay-based sealing materials. Canadian Geotechnical Journal, 48; 199-213.
[5]. Pusch, R., 2001. Experimental study of the effect of high pore water salinity on the physical properties of a natural smectitic clay. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB). Report number: TR01-07, 35 p.
[6]. Jones, D.E., K.A. Jones, 1987. Treating expansive soils. Civil Engineering, 57; 62-65.
[7]. Bell, F.G. 1996. Lime stabilization of clay minerals and soils. Engineering Geology. 42, 223–237.
[8]. Cokca, E. J. 2001, Use of class c fly ashes for the stabilizationof an expansive soil. Geotechnical and Geoenvironmental 127,568–573.
[9]. Bhuvaneshwari S, Soundara B, Robinson RG, Gan dhi SR. Stabilization and Microstructural modification of dispersive clayey soils. Proc. of Sri Lankan Geotechnical Society's 1st Int. Conf. on Soil & Rock Engg, Colombo, Sri Lanka, 2007, pp.1–7.
[10]. Zha F, Liu S, Du Y, Cui K. 2008, Behavior of expansive soils stabilized with fly ash. Natural Hazards. 47, 509–523.
[11]. Yilmaz I, Civelekoglu B. 2009, Gypsum: An additive for stabilization of swelling clay soils. Applied Clay Science. 44, 166–172.

[12]. Uzal B, Turanlı L, Yucel H, Goncuoglu MC, Culfaz A. 2010. Pozzolanic activity of clinoptilolite: a comparative study with silica fume, fly ash and a non-zeolitic natural pozzolan. Cement and Concrete. 40, 398–404.
[13]. Ahmadi B, Shekarchi M. "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material." Cement & Concrete Composites, Vol. 32, pp. 134-141, 2010.
[14]. Shekarchi M, Nejad JE, Ahmadi B, Rahimi M. Improving concrete properties by using natural zeolite, Part II-Alkali silica reaction, Iranian Concrete Journal, 32 (2009) 30-7.
[15]. Tsitsishvili GV, T. G. Andronikashvili, G. R. Kirov and L. D. Filizova. Natural zeolites, Ellis Horwood Limited, Chichester, United Kingdom (1992).
[16]. Mier MV, Callejas RL, Gehr R, Cisneros BEJ, Alvarez PJJ. Water Res. 2001, 35, 373 378.
[17]. Kaya A, Durukan S. 2004. Utilization of bentonite-embedded zeolite as clay liner. Applied Clay Science. 25, 83–91.
[18]. Yukselen-Aksoy Y. 2010. Characterization of two natural zeolites for geotechnical and geoenvironmental applications. Applied Clay Science. 50, 130–136.
[19]. Turkoz, M and Vural, P. 2013. The effects of cement and natural zeolite additives on problematic clay soils. Sci Eng Compos Mater 2013; 20(4): 395–405
[20]. Reddy, N.G, Tahasildar,J, and Rao, B.H, 2015. Evaluating the Influence of Additives on Swelling Characteristics of Expansive Soils. Int. J. of Geosynth. and Ground Eng. (2015) 1:7.
[21]. Chittoori B. C. S., Clay Mineralogy Effects on Long-Term Performance of Chemically Treated Expansive Clays, Ph. D. Thesis, The University of Texas, USA, 302 pages, 2008.
[22]. Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. Soil science. 84: 257-264.
[23]. Philip, J. R. 1969. The theory of infiltration. Advances in Hydrosciences, 5: 215-296.
[24]. ASTM, 1996. "One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils", Designation: D4546-96.
[25]. Sridharan, A., Rao, A.S., Sivapullaiah, P.V., 1986. "Swelling Pressure of Clays", Geotechnical Testing Journal, 9, p. 24-33.
[26]. Van der Merwe, D.H. 1964. The prediction of heave from the plasticity index and percentage fraction of soils. Civil Engineering in South Africa. 6, 103–107.
[27]. Chen F.H. Foundation on Expansive Soils, Elsevier: Amsterdam, 1988.
[28]. Wei, H., Q, Wang., M, Shao. Z, Ju. 2011. Effects of infiltration time on the calculated sorptivity with White method for a sandy loam soil. African Journal of Agricultural Research. 6(19): 4601-4606.

Effect of Natural Zeolite Additives on Physical and Hydraulic Properties of Expansive Soil Stabilized with Cement

A. Baghaani*
Student of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University
M. Bakhshi
Assistant Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University
M. Rakhshani Mehr
Assistant Professor, Faculty of Engineering, Alzahra University

Abstract

Expansive soils are considered as an overall challenge especially for civil engineers. Such soils swell when given an access to water and shrink when they dry out. The most common and economical method for stabilizing these soils is using of the additives that prevent volume changes. Variation, improve and optimize the physical and hydraulic properties of soil with use of additives including zeolite and cement additives have been considered for always. In this study the effect of cement in rang of 3 g/kg and zeolite in range of 4, 8 and 12 g/kg of soil as additives content on physical and hydraulic properties of soil contain percent and pressure swell and sorptivity(S) were investigated. The results showed that the addition of mixture of zeolite and cement into soil in different amounts effect on physical and hydraulic properties of soil in a different way. In general, the addition of a mixture of zeolite and cement helps to reduce percent and pressure swelling of soils in different contents. Combination zeolite and cement with soil decrease sorptivity of specimens. As, the maximum reduction for specimens occurred in application of 8 g/kg zeolite and 3 g/kg of cement.

Keywords: Cement, Zeolite, Expansive soil, swelling, sorptivity.

* Corresponding Author: baghani_1347@yahoo.com