مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته
بهار ۹۳، شماره ۱۱

برآورد شاخص فشردگی، تورم و پیش بارگذاری خاک‌های رسی- گچی در حضور ترمیم‌کننده ویژه

فاطمه بهروزی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

جواد احدیان

استادیار گروه سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۲۴

fa.behroozi66@gmail.com

چکیده

در خاک‌های ریزدانه به علت نفوذپذیری پایین و جاذب آب بودن کانیهای رس، خروج آب از خاک پس از گذشت مدت زمانی طولانی انجام می‌پذیرد، در این خصوص برآورد نشست حاصل از تحکیم ضروری می‌باشد. بدیهی است، در صورت عدم پیش‌بینی، نشست موجب خسارات جبران‌ناپذیری می‌گردد. قبل از اجرای هر پروژه باید پتانسیل خاک از نظر مقدار و نوع نشست مشخص گردد. یکی از روشهای محاسبهٔ نشست حاصل از تحکیم، استفاده از ضرایبی است که از طریق آزمایش تحکیم بدست می‌آیند. این ضرایب عبارتند از: شاخص فشردگی ، C_C، شاخص تورم ، C_S و شاخص پیش بارگذاری C_r. لذا در این تحقیق از ترمیم‌کننده بتن ویژه که ماده‌ای بر پایه سیمان است، برای تثبیت خاک گچی استفاده شده است و این ضرایب محاسبه گردید. برای تثبیت خاک، ترمیم‌کننده بتن ویژه با درصدهای ۱، ۲، ۳، ۵ و۷ به خاک اضافه گردید. آزمایشات دانه‌بندی، تعیین چگالی نسبی، تراکم، تعیین حدود اتربرگ و تحکیم طبق استانداردهای موجود بر روی خاک شاهد و بهسازی شده، انجام گردید. همچنین آزمایش آنالیز شیمیایی برای تعیین مقدار عناصر موجود در خاک صورت پذیرفت. پس از انجام آزمایش‌های ژئوتکنیکی و تعیین خصوصیات فیزیکی و آنالیز شیمیایی نمونه‌های خاک شاهد و بهسازی شده، مشخص گردید که ضریب C_c در تراکم ۸۵٪ برای تمام درصدهای اضافه شده از ترمیم‌کننده بتن ویژه، کاهش یافته است. در تراکم ۹۵٪ بجز در درصدهای ۱ و ۵ از ماده افزودنی ترمیم‌کننده بتن ویژه، مقدار ضریب C_c کاهش یافته است. همچنین در تراکم ۱۰۰٪ بجز در درصدهای ۲ و ۵ از ماده ترمیم‌کننده بتن ویژه، مقدار ضریب C_c کاهش یافته است. در تراکم ۸۵٪ ضریب C_S در بهترین حالت ۷۶٪ کاهش یافته است. این ضریب در تراکم ۹۵٪ و در بهترین حالت ۶۳٪ کاهش داشته است. زمانی که تراکم ۱۰۰٪ اجرا گردید، مقدار ضریب C_S کاهش نیافت.

کلمات کلیدی: *تحکیم، خاک های گچی، ظریب فشردگی، ترمیم کننده ویژه*

مقدمه

فشردگی یا تراکم خاک در اثر تاثیر وزن سازه، سبب نشست خاک و نتیجتا وارد آمدن خسارت به سازه می‌گردد. نشست تحکیم ناشی از تغییر حجم خاک اشباع به علت رانده شدن آب‌های موجود در حفرات آن است و در خاک-های ریز دانه نظیر رس مورد توجه قرار می‌گیرد. افزایش تنش ناشی از احداث ابنیه سبب متراکم شدن لایه‌های خاک می‌گردد. تراکم یا نشست خاک در اثر سه عامل اتفاق می‌افتد و این سه عامل عبارتند از : تغییر شکل ذرات خاک، جابجائی ذرات خاک و خروج آب یا هوا از فضاهای خالی. در ریزدانه‌ها (رس) به علت نفوذپذیری پایین و جاذب آب بودن کانیهای رس، خروج آب از خاک پس از گذشت مدت زمانی طولانی انجام می‌پذیرد، در این خصوص برآورد نشست حاصل از تحکیم ضروری می‌باشد. در مواردی مقدار نشست نهایی در اثر احداث یک سازه تا ۲ متر در طی چند سال مشاهده شده است. بدیهی است، در صورت عدم پیش‌بینی، این مقدار نشست موجب خسارات جبران‌ناپذیری می‌گردد.

قبل از اجرای هر پروژه باید پتانسیل خاک از نظر مقدار و نوع نشست مشخص گردد (احدیان، ۱۳۸۳). برای محاسبهٔ میزان نشست باید بار یا وزن اعمال شده توسط سازه و همچنین مشخصات فیزیکی خاک مشخص باشد. نشست حاصل از تحکیم علاوه بر موارد یاد شده به نفوذپذیری خاک و همچنین ابعاد تودهٔ خاک وابسته می‌باشد؛ به‌طوری‌که، هر چه نفوذپذیری خاک بیشتر باشد، سرعت تحکیم بیشتر بوده و در نتیجه در زمان کوتاه‌تری خاک به حالت تعادل رسیده و اندازهٔ نشست به حداکثر خود می‌رسد. از طرفی هر چه ابعاد تودهٔ خاک بیشتر باشد، سرعت تحکیم کاهش یافته و در نتیجه در زمان طولانی‌تری حداکثر نشست رخ می‌دهد. یکی از روشهای محاسبهٔ نشست حاصل از تحکیم، استفاده از ضرایبی است که از طریق آزمایش تحکیم بدست می‌آیند. این ضرایب عبارتند از: شاخص فشردگی ، C_C، شاخص تورم ، C_S و شاخص پیش بارگذاری C_r. برای یک خاک مشخص، با نسبت پوکی اولیه ثابت، اندیس فشردگی مقدار ثابتی می‌باشد؛ ولی تعیین مقدار آن برای انواع خاک‌های چسبنده، متفاوت است. به دلیل این که مشخص نمودن مقادیر C_C و C_S با استفاده از آزمایش تحکیم، مدت زمان زیادی نیاز دارد، متخصصین مکانیک خاک سعی بر این داشته‌اند که این ضریب را به خصوصیات فیزیکی دیگر خاک ارتباط دهند. در هر حال استفاده از فرمول‌های تجربی که ارتباط بین ضرایب فوق و دیگر خصوصیات فیزیکی خاک را بیان می‌کند، بستگی به اهمیت پروژه دارد. اندیس فشرگی ممکن است تابع پارامترهای مختلفی نظیر نسبت پوکی اولیهٔ خاک، وزن مخصوص خاک، رطوبت اولیهٔ خاک، رطوبت حد روانی، رطوبت حد خمیری، شاخص خمیرایی، حد انقباض و دیگر خصوصیات فیزیکی خاک باشند. در گذشته محققین زیادی به بررسی این ضرایب پرداختند. تلاش این دانشمندان با توجه به وقتگیر بودن آزمایش تحکیم، برآورد مقادیر این ضرایب با استفاده از روابط ریاضی بوده‌است.

Sketempton, (1944) با آزمایش تحکیم بر روی تعدادی رس دست خورده رابطه‌ای برای ضریب شاخص فشردگی ارائه نمود. رابطهٔ وی بر اساس نتایج تعداد ۲۵ آزمایش تحکیم، شکل گرفته و ارتباط خطی بین شاخص فشردگی و رطوبت حد روانی را بیان می‌کند. Nishida, (1956) بر اساس تئوری الاستیسیته، ارتباط بین شاخص فشردگی و نسبت پوکی اولیه خاک را برای انواع خاکهای چسبنده ارائه نمود. Oswald, (1980) بر اساس یک تحلیل آماری بر روی تعداد زیادی داده آزمایشگاهی (در حدود ۱۲۵ داده آزمایشگاهی) رابطه‌ای برای شاخص فشردگی تحت رابطه جهانی شاخص فشردگی ارائه نموده است. Rendon- Herrero, (1980) بر اساس مشاهدات خود از چند رس طبیعی، رابطه‌ای را برای شاخص فشردگی، پیشنهاد نموده است. Nagaraj and Murty, (1985) ارتباط بین شاخص فشردگی و پارامترهای فیزیکی خاک را بصورت رابطه‌ای که در (جدول۱) آورده شده، ارائه نموده‌اند.

Archive of SID
www.SID.ir

Park and Koumoto, (2004) با استفاده از نتایج ۸۳ آزمایش تحکیم بر روی نمونه‌های خاک رس دست نخورده رابطه‌ای بر مبنای تخلخل اولیه برای محاسبه شاخص فشردگی ارائه نموده‌اند. احدیان (۱۳۸۳) پس از انجام مطالعاتی بر روی خاکهای مناطق مختلف اهواز به این نتیجه رسید که شاخص فشردگی و پارامتر نسبت پوکی در خاک این منطقه به صورت معنی داری رابطه وجود دارد و رابطه را بر اساس نسبت پوکی اولیه ارائه نمود. Cavalieri et al., (2008) در آزمایشی به محاسبه تنش بیش تحکیمی با استفاده از آزمایش تحکیم یک بعدی پرداختند و در نهایت با استفاده از تنش بیش تحکیمی رابطه‌ای برای پیش‌بینی شاخص فشردگی ارائه نمودند.

دریایی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی روابط تجربی ذکر شده را مورد بررسی قرار داده و با نتایج شبکه عصبی مقایسه نموده‌اند. بر اساس نتایج این محققین مشخص گردیده که شبکه عصبی مصنوعی نسبت به سایر روابط تجربی شاخص فشردگی را با استفاده از تعداد پارامترهای بیشتر و با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌نماید. همچنین نتایج این محقیقن نشان داده است که از میان پارامترهای فیزیکی مورد بررسی توسط شبکه عصبی، نسبت پوکی اولیه بیشترین تاثیر را بر روی شاخص فشردگی دارد که استفاده از این پارامتر غالباً در کلیه روابط تجربی مشاهده می‌شود. دانشمندان در تحقیقات خود و طی سالیان متوالی از خصوصیات فیزیکی مختلف خاک برای برآورد شاخص فشردگی مانند حد خمیرایی و نسبت پوکی اولیه استفاده نموده‌اند. با توجه به اینکه هر کدام از روابط بالا برای شرایط و منطقهٔ خاصی محاسبه گردیده، دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. Saffih- hdadi et al., (2009) رابطه خطی - تجربی بر پایه جرم مخصوص اولیه و رطوبت اولیه ارائه نمودند. این رابطه - ضرایبی دارد که بسته به منطقه مورد مطالعه دارای مقادیر متفاوتی است. - محاسبه این ضرایب خود مستلزم آزمایش است. Park and Lee, (2011) شاخص‌فشردگی را با استفاده از شبکه‌های عصبی پیش‌بینی نمودند. گچ یکی از نمک‌های محلول بوده که می‌تواند تأثیر بسزایی بر ساختمان‌ها و سازه‌های آبی داشته باشد. چنانچه خاک‌های گچی در تماس با آب باشند، دچار انحلال گشته و ممکن است مشکلات زیادی را برای سازه بوجود آورند. با توجه به این موضوع و نیز با توجه به توسعه فعالیت‌های عمرانی، مشکلات ناشی از استفاده خاک-های گچی به‌عنوان مسئله‌ای مهم در ساخت سازه‌های آبی مطرح می‌باشد و تثبیت این خاک‌ها می‌تواند از نظر اقتصادی در بسیاری از پروژه‌ها به خصوص پروژه‌های آبی مقرون به صرفه باشد. در نظر گرفتن راهکارهای ساخت سازه‌ها در خاک‌های مسئله‌دار موجب پیشگیری از بوجود آمدن خسارات احتمالی و نیز ترمیم و یا تثبیت سازه‌های موجود ساخته شده بر روی اینگونه خاک‌ها خواهد شد (سهرابی، ۱۳۹۰). وجود مواد انحلال‌پذیر نظیر نمک طعام و گچ موجب می‌شود تا بر اثر تماس این خاک‌ها با آب، مواد مذکور در آب حل شده و قسمتی از ذرات جامد موجود در توده خاک ضمن انحلال خارج شوند. این پدیده در صورت تداوم می‌تواند موجب افزایش تخلخل و پوک شدن خاک گردیده و نهایتا با ایجاد نشست، موجب تخریب ساختمان خاک و فروریزش خاک شود. باید توجه داشت که بهسازی خاک با استفاده از مواد افزودنی باید با درصد معینی از مواد بهسازی صورت پذیرد. استفاده از درصدهای بیشتر مواد افزودنی ممکن است کاهش مقاومت خاک را به همراه داشته باشد (تاتلاری، ۱۳۷۵). علیزاده (۱۳۸۸)، برای تثبیت رمبندگی خاک تحقیقاتی انجام داد. بر اساس نتایج تحقیق وی تزریق برجای خاک موثرتر از سایر روش‌ها جهت تثبیت می‌باشد. Zhang and Solis, (2008) مطالعاتی در مورد خاک گچی بهسازی شده با خاکستر بادی انجام دادند. آنها آزمایشاتی قبل و بعد از افزودن ماده مورد نظر انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که خواص مهندسی این خاک مسئله‌دار به علت افزایش دانسیته خشک، کاهش پتانسیل تورم‌زایی و همچنین افزایش مقاومت برشی آن تا حد رضایت‌بخشی بهبود می‌یابد. Yilmaz and Civele Koglu, (2009) پس از انجام مطالعاتی در مورد پایداری خاکهای رسی متورم شونده به این نتیجه رسید که گچ می‌تواند تاثیر بسزایی بر پایداری این نوع خاک‌ها داشته باشد. Wang et al., (2011) در هنگ کنگ مطالعاتی بر روی تراکم استاتیکی و دینامیکی خاک گرانیتی، جهت بهبود رفتار این نوع خاک انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که تراکم دینامیکی ۲ تا ۵ برابر موثرتر از تراکم استاتیکی می‌باشد که این مقدار بستگی به فرکانس و دوره تناوب تراکم دینامیکی دارد. Chai et al., (2012)، در آزمایشات خود از نوعی مخروط نفوذ سنج جدید استفاده کرده و با شبیه سازی میزان تغییرشکل مخروط نفوذ در مقابل تغییرات فشار آب منفذی، مقدار ضریب تحکیم افقی را پیش بینی نموده ونشان دادند که این شیوه دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. Ple and le, (2012) به بررسی اثر الیاف پلی پروپیلن بر بهبود رفتار مکانیکی رس سیلتی پرداختند. پس از انجام تست کشش و آزمون تراکم، بهبود مقاومت خاک در رس سیلتی تقویت شده با این نوع الیاف مشاهده گردید. Horpibolsuk et al., (2012) در تحقیقی به بررسی رفتار نشست رس نرم در اثر استفاده از سیمان پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که استفاده از سیمان تاثیر بسیاری در بهبود ضریب تحکیم این نوع خاک داشته است به طوری‌که، تحقیق آنها توسط مدل دو بعدی PLAXIS کنترل گردید.

Shipton and Coop, (2012)با انجام تعدادی آزمایش تحکیم به مطالعه و بررسی خاک‌های ترکیبی پرداختند. برخی از این ترکیبات شامل ترکیب شن و رس، شن و کوارتز، شن و کوارتز و سیلت، شن ورس وسیلت بودند. Tsutsumi and Tanaka, (2012) با انجام آزمایش تحکیم به بررسی اثرات ترکیب تغییرات کرنش و دما بر روی رفتارهای تحکیمی خاک رس پرداختند. بررسی خصوصات ژئوتکنیکی خاک و سنگ، بخش مهمی از مهندسی ژئوتکنیک می باشد از اینرو قبادی و همکاران (۱۳۹۲) تحقیقی تحت عنوان مطالعه خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه سنگ‌های سازند آغاجاری در شرق و جنوب شرق اهواز انجام دادند که در آن رخنمون ماسه سنگ های سازند آغاجاری بررسی گردید. این سنگ ها یکی از سنگ های مشکل آفرین هستند که در استان خوزستان به عنوان مصالح ساختمانی در ساخت وسازهای شهری استفاده می شود. در این پژوهش، خصوصیات سنگ شناسی، ویژگی های فیزیکی، شاخص و مکانیکی این ماسه سنگ ها تعیین شده است.

با استفاده از آنالیزهای رگرسیون و نرم افزار SPSS 19، ارتباط بین خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه سنگ ها تعیین گردید. این روابط بصورت توابع خطی، لگاریتمی و نمایی بوده اند. هم چنین، آزمون های t و F در سطح اطمینان ۹۵ درصد اعتبار روابط تجربی پیشنهادی را تایید نمودند. بنابراین، با هدف کاهش هزینه و وقت می توان این روابط پیشنهادی را به منظور تخمین خصوصیات ژئوتکنیکی این سنگ ها بکار گرفت. ترمیم کننده ویژه، نوعی ملات آماده پودری و بر پایه سیمان می باشد که به واسطه وجود چسب بتن در ساختار خود علاوه بر قدرت چسبندگی بسیار زیاد به انواع سطوح و مصالح به خصوص بتن ، موجبات آب بندی مقطع مورد کاربرد را نیز فراهم می آورد و با استانداردهای ASTM C928-05 و ASTM C1583-04 مطابقت دارد (۱۵و۱۶). برخی خواص و اثرات ترمیم کننده بتن ویژه شامل، چسبندگی فوق العاده زیاد به انواع مصالح، بدون انقباض، مقاوم در مقابل سیکلهای یخبندان و ذوب، قابلیت آب بندی و نفوذ ناپذیر سازی سطوح می‌باشد. همچنین موارد کاربرد این ماده شامل تسطیح و ترمیم سطوح متخلخل، زیرسازی کف و دیوارها قبل از نصب پوشش جدید، قابل استفاده در سطوحی که در تماس مستقیم با آب هستند، پر نمودن میان بولتها، ماهیچه کشی درسازه های آبی می‌باشد. با

Archive of SID
www.SID.ir

توجه به محدودیت مکانی برای برآورد ضرایب ذکر شده، اهمیت زیاد پدیده استفاده از روابط ذکر شده است، محاسبه این ضرایب از طریق آزمایش تحکیم در محل احداث سازه دقت بالاتری خواهد داشت. مقدار ضریب فشردگی (C_c) برای برآورد پتانسیل نشست خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد بنابراین برآورد دقیق آن ضروری است و اگر این ضریب با بهسازی خاک کاهش یابد، پتانسیل نشست خاک کاهش می‌یابد. در این تحقیق با توجه به این موضوع، ضرایب ذکر شده برای ۱۸ نمونه از خاک‌های رسی- گچی منطقه خوزستان که بوسیله ترمیم کننده ویژه بهسازی شده است، طی آزمایش تحکیم محاسبه گردید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق با توجه به ویژگی‌های ذکر شده برای ترمیم کننده بتن ویژه، این ماده به عنوان ماده افزودنی انتخاب گردید و آزمایش‌های تعیین درصد رطوبت، تعیین دانه‌بندی، تعیین حدود اتربرگ، تعیین چگالی نسبی، تراکم، آنالیز شیمیایی خاک برای یافتن درصد گچ موجود و آزمایش تحکیم برای خاک شاهد و نمونه‌های تهیه شده با درصدهای افزودنی ۱، ۲، ۳، ۵، ۷ انجام گردید. لازم به ذکر است که در حالت استاندارد و برای خاک‌های معمولی برای خشک کردن نمونه‌ها از دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد استفاده می‌شود. در مورد گچ و خاک‌های گچی چنانچه از این دما استفاده شود، گچ با از دست دادن آب تبلور خود به سولفات کلسیم نیمه آبدار تبدیل می‌شود و این آب از دست رفته نیز جزء رطوبت خاک تلقی می‌شود که می‌تواند خطای زیادی را در تعیین درصد رطوبت ایجاد کند. با بررسی‌هایی که در این زمینه انجام شد و با توجه به ریزدانه بودن خاک مورد مطالعه در این تحقیق، رابطه (۱) برای تعیین درصد رطوبت خاک گچی پیشنهاد گردید (سهرابی، ۱۳۹۰).

$$W = 1.007w^{60} + 0.007$$ رابطه (۱)

در این رابطه W درصد رطوبت در دمای استاندارد ۱۰۵ درجه و w^{60} درصد رطوبت در دمای ۶۰ درجه می‌باشد. برای آزمایش دانه‌بندی بخش درشت‌دانه خاک، ابتدا خاک خشک می‌شود، سپس کلوخه‌های خاک کاملا خرد شده و نمونه از الک‌ها عبور داده می‌شود. پس از عبور دادن کامل خاک از الک-ها، جرم خاک‌هایی که بر روی هر یک از الک‌ها باقیمانده است، اندازه‌گیری می-شود. نتایج آزمایش دانه‌بندی معمولا برحسب درصد وزنی خاک‌های عبوری از هر الک بیان می‌شود. آزمایش هیدرومتری بر پایه اصول ته‌نشینی دانه‌های خاک در آب قرار دارد. وقتی که نمونه خاک در آب کاملا هم زده می‌شود، دانه-های معلق برحسب شکل، اندازه و وزن با سرعت‌های مختلفی ته‌نشین می‌شوند. برای سهولت فرض می‌شود که تمام دانه‌های خاک کروی هستند و سرعت ته-نشینی آنها طبق قانون استوکس بیان می‌شود. آزمایش دانه‌بندی مطابق با ASTM-D-422 استاندارد شده است. پلاستیسیته برای خاک‌های رسی و لایی تعریف می‌شود و قابلیت تغییر شکل یافتن بدون خرد شدن خاک است. حدود آتربرگ میزان رطوبت مطابق با رفتار متفاوت رس‌ها و لای‌ها می‌باشد. حدود اتربرگ خاک‌ها شامل حد روانی، حد خمیری و حد انقباض می‌باشد. بر حسب میزان رطوبت، طبیعت رفتار خاک به یکی از چهار حالت جامد، نیمه جامد، خمیری و مایع خواهد بود. آزمایش‌های تعیین حدود اتربرگ شامل، تعیین حد روانی (LL)، طبق ASTM-D-423، تعیین حد خمیری (PL)، طبق ASTM-D-424 و تعیین حد انقباض طبASTM-D-427 انجام گردید (۱۰و۱۱و۱۲). در انجام محاسبات مکانیک خاک، اغلب چگالی دانه‌های خاک لازم می‌گردد. چگالی دانه‌ها را می‌توان به دقت در آزمایشگاه تعیین کرد.

دامنه چگالی دانه‌ها معمولا بین ۲/۶ تا ۲/۹ است. در این تحقیق آزمایش تعیین چگالی نسبی طبق استانداردASTM-D-854 انجام شد (۱۳). تراکم عبارتست از کاهش دادن تخلخل خاک با خارج کردن هوا. این عمل در زمین به طرق مختلف انجام می‌شود. در آزمایشگاه، عمل تراکم معمولاً با وارد کردن نشست و بر آورد آن و همچنین با توجه به خطایی که در برآورد این ضرایب با ضربه به خاکی که در قالب استاندارد ریخته شده، به وسیله چکش مخصوص صورت می‌گیرد. در این تحقیق آزمایش تراکم پروکتور استاندارد مطابق با استاندارد ASTM-D-698 انجام شد (۱۴). زمانی که یک لایه خاک اشباع تحت تأثیر افزایش تنش قرار می‌گیرد، فشار آب منفذی ناگهان افزایش می‌یابد.

در خاکهای ماسه‌ای با نفوذپذیری بالا، زهکشی ناشی از افزایش فشار آب منفذی کاملاً آنی است. زهکشی آب منفذی با کاهش حجم توده خاک همراه است که خود به نشست منجر می‌گردد. Terzaghi, (1925) اولین کسی بود که روش آزمایش تحکیم را پیشنهاد نمود. این آزمایش در دستگاهی به نام تحکیم‌سنج، انجام می‌شود. در این دستگاه نمونه خاک همراه با دو سنگ متخلخل، یکی در بالا و دیگری در پایین نمونه، در داخل رینگ فلزی قرار داده می‌شود. عموماً این رینگ دارای قطر داخلی ۷۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰ میلی‌متر می‌باشد. بار روی نمونه از طریق سیستم بارگذاری دستگاه که شامل بازوی بارگذاری و صفحه بارگذاری می‌باشد، بر روی نمونه وارد می‌گردد. فشردگی نمونه، از طریق یک اندازه‌گیر عقربه‌ای دقیق (در صورتی که دستگاه دیجیتالی باشد این فشردگی از طریق اندازه‌گیر دیجیتالی ثبت می‌شود) اندازه‌گیری می‌شود. نمونه در حین آزمایش باید در یک محیط کاملاً اشباع قرار داشته باشد؛ برای این منظور، نمونه در زیر آب نگه‌داشته می‌شود. آزمایش برای چند بار صورت می‌گیرد و هر بارگذاری، معمولاً به مدت ۲۴ ساعت حفظ می‌شود.

پس از پایان آزمایش تحکیم منحنی‌های حاصل از هر بارگذاری که میزان نشست نمونه در مقابل زمان (در مقیاس لگاریتمی و یا ریشهٔ دوم زمان) را نمایش می‌دهند، رسم می‌گردد. برای تمام نمونه‌ها نمودارهای e-logσ رسم گردید. ضرایب C_c، C_s و C_r با توجه به این نمودارها محاسبه می‌گردند. با استفاده از مطالبی که در گذشته بیان گردید، می‌توان نشست احتمالی ناشی از تحکیم اولیه صحرایی را با فرض تحکیم یک بعدی محاسبه نمود. قبل از بررسی و ارائه معادلات مربوطه، لازم می باشد که تحکیم یک بعدی معرفی گردد. برای این منظور چنانچه تغییر شکل خاک فقط در جهت قائم امکان پذیر باشد، تحکیم حاصله را یک بعدی گویند. در واقع، تحکیم به صورت سه بعدی بوده و مقدار تغییر شکل ذرات خاک در سه جهت صورت می‌پذیرد؛ ولی، برای سادگی محاسبات از تئوری تحکیم یک بعدی استفاده می‌گردد. این مورد جهت محاسبه نشست، باعث خطایی در حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد می‌شود. در آزمایش تحکیم مقدار فشردگی فقط در جهت قائم امکان‌پذیر می‌باشد. در چنین شرایطی نسبت تنش قائم (σ_1) به تنش های جانبی (σ_3)برابر با مقدار ثابت K_0 می‌باشد. این حالت در عمل، موقعی مشاهده می شود که یک لایه خاک رس نرم بین دو لایه ماسه یا رس سفت قرار گرفته باشد، در این صورت چسبندگی بین لایه های نرم و سفت از تغییر شکل جانبی لایه خاک رس نرم ممانعت می کند. انجام آزمایش تحکیم تحت شرایطی که تغییر شکل جانبی قابل ملاحظه می‌باشد را می توان با استفاده از دستگاه آزمایش سه محوری انجام داد. در اغلب موارد شرایط آزمایش یک بعدی به نحو خوبی مشابه شرایط صحرایی می‌باشد.

در این تحقیق با توجه به توضیحات داده شده در خصوص ضرایب C_c، C_s و C_r و اهمیت آنها، برای نمونه‌های بهسازی شده خاک گچی بوسیله ترمیم-کننده بتن ویژه، این مقادیر با استفاده از آزمایش تحکیم محاسبه گردید. در این تحقیق ۱۸ نمونه خاک با تراکم‌های ۸۵٪، ۹۵٪ و ۱۰۰٪ تهیه گردید. برای هر تراکم شش نمونه شامل یک نمونه خاک شاهد و پنج نمونه بهسازی شده آماده گردید. نمونه‌های بهسازی شده شامل درصدهای ۱، ۲، ۳، ۵ و ۷ ماده ترمیم-کننده بتن ویژه بودند. نتایج حاصله در بخش نتایج و بحث آورده شده‌است.

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج و بحث

همانطور که ذکر گردید، آزمایش‌های تعیین پارامترهای فیزیکی خاک، مطابق با استانداردهای ذکر شده، بر روی نمونه‌های خاک شاهد و بهسازی شده انجام گردید. نتایج این آزمایش‌ها در جداولی آورده شده است. (جدول۱)، نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌هایی از خاک برای تعیین دانه بندی را نشان می‌دهد. پس از انجام آزمایش تعیین چگالی نسبی مقدار ۲/۵۳ برای چگالی نسبی اندازه‌گیری گردید. عمده‌ترین تأثیرات مخرب وجود گچ در خاک را می‌توان در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالاست مشاهده نمود. در این مناطق خاک پیرامون سازه، اشباع گردیده و با انجام واکنش‌های شیمیایی بین آب و گچ موجود در خاک، تخریب‌های شیمیایی در سازه بوجود می‌آید. با فرض برابر بودن مشخصه‌های خاک گچی، شکل گچ موجود در خاک به صورت پودر (ژیپس) و یا بلوری (انیدرید)، نحوه پخش آن در خاک (متمرکز یا مخلوط با خاک)، دانه بندی (ابعاد اکثر دانه‌ها به رس یا ماسه نزدیک تر باشد) و غیره، با افزودن مواد مختلف به این نوع خاک، در مشخصات خاک تغییر ایجاد می‌کنند. علت مسئله‌دار بودن خاک گچی، انحلال یون کلسیم گچ در آب و خطر پوک شدن خاک و شسته شدن ذرات خاک می‌باشد (منصوری‌کیا و محمدعلی‌زاده، ۱۳۸۶). لازم به ذکر است که از دیدگاه سازه‌ای بیش از ۴ درصد گچ در خاک عمدتاً سبب تخریب سازه‌ای خواهد گردید. نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی خاک در (جدول۲) آورده شده است. با توجه به ارقام موجود در (جدول۲) این خاک دارای گچ بوده و احداث سازه بر روی چنین بستری و یا با استفاده از چنین مصالحی نیازمند تمهیدات ایمنی و احتیاطی برای جلوگیری از نفوذ آب به درون خاک است. حدود اتربرگ شامل حد روانی و حد خمیری برای خاک شاهد مورد مطالعه به ترتیب ۳۴/۹۷٪ و ۳۲/۹۴٪ بدست آمد. بنابراین نشانه خمیری ۲/۰۳ بدست می‌آید. حد خمیری در حدود ۳۰٪ می‌باشد بنابراین تثبیت با سیمان قابل انجام است و نیازی به استفاده از آهک نمی‌باشد.

همچنین حد انقباض خاک شاهد نیز ۱۳/۷۶٪ می‌باشد. در (جدول۳) مشخصات فیزیکی و ژئوتکنیکی خاک آورده شده‌است. پس از انجام آزمایش تراکم بر روی خاک شاهد مشخص شد که خاک مورد مطالعه دارای وزن واحد حجم خشک ماکزیمم ۱۶/۵۳ کیلو نیوتن بر مترمکعب و رطوبت اپتیمم ۱۷/۶۶ درصد می‌باشد. در اینجا به بررسی نتایج آزمایشات ذکر شده بر روی خاک بهسازی شده با ترمیم کننده ویژه پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که تمامی آزمایشات پس از ۲۴ ساعت از مخلوط نمودن خاک شاهد و ماده ترمیم کننده بتن ویژه صورت گرفته است. همانطور که در (جدول ۴) نشان داده شده است با افزایش میزان ترمیم‌کننده ویژه، حد روانی خاک مورد مطالعه افزایش یافته به‌گونه‌ای که در ۷٪ از این ماده، حد روانی ۳۲٪ افزایش می‌یابد. این امر نشان‌دهنده این موضوع است که با اضافه کردن ترمیم‌کننده ویژه به خاک، قابلیت جذب رطوبت خاک افزایش یافته است و از طرفی با برهم زدن تبادل الکترونی بین ذرات رس و ترمیم‌کننده ویژه میزان رطوبتی که در آن، خاک به حالت روان تبدیل می‌شود افزایش می‌یابد. این درحالی است که نشانه خمیری تغییر چندانی نداشته است. بنابراین ترمیم‌کننده ویژه تغییری در پلاستیسیته خاک مورد مطالعه ایجاد نمی‌کند. نتایج تراکم مخلوط خاک و ترمیم‌کننده ویژه در (جدول ۵) آورده شده است و همانطور که مشاهده می‌شود افزودن ترمیم‌کننده بتن ویژه تاثیر چشمگیری بر خصوصیات تراکمی خاک مورد مطالعه ندارد. با توجه به نتایج آزمایش تراکم که در (جدول ۵) آورده شد و با توجه به نحوه اجرای خاکریزی در اجرای پروژه‌ها، مقدار تراکم ۸۵٪، ۹۵٪ و ۱۰۰٪ برای نمونه‌های آزمایش تحکیم در نظر گرفته شد و بر اساس آن مقدار خاک و ترمیم کننده ویژه برای هر یک از آزمایش‌های تحکیم محاسبه گردید. پس از انجام آزمایش تحکیم بر روی خاک منطقه و نمونه‌های بهسازی شده، شاخص C_c، شاخص C_s و شاخص C_r برای تمامی نمونه‌ها محاسبه گردید و در (جدول ۶) آورده شد.

جدول ۱. مشخصات دانه‌بندی خاک مورد مطالعه

رس	سیلت	ماسه	شن
٪ ۸/۴۰	٪۵۹/۷۵	٪۳۱/۸۵	٪۰

جدول۲. مشخصات شیمیایی خاک مورد مطالعه

K (ppm)	Na (ppm)	Mg (meq/lit)	Ca (meq/lit)	EC (ms/cm)
۴۲/۷	۲۴/۱	۰/۶	۳/۴	۲/۳۰

جدول ۳. مشخصات فیزیکی و ژئوتکنیکی خاک شاهد مورد مطالعه

مشخصات	مقادیر
درصد رس	۸/۴۰
درصد لای	۵۹/۷۵
درصد ماسه	۳۱/۸۵
حد روانی (LL)	۳۴/۹۷
حد خمیری (PL)	۳۲/۹۴
شاخص خمیری (PI)	۲/۰۳
حد انقباض (SL)	۱۳/۷۶
رده‌بندی در سیستم متحد (USCS)	ML
رده‌بندی در سیستم آشتو (AASHTO)	A-4
وزن واحد حجم خشک ماکزیمم (Kg/m^3)	۱۶۵۳
رطوبت اپتیمم (٪)	۱۷/۶۶
رنگ	قهوه‌ای روشن

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۴. حدود آتربرگ مخلوط خاک و ترمیم‌کننده ویژه

درصد ترمیم‌کننده ویژه	٪۱	٪۲	٪۳	٪۵	٪۷
حد روانی	۳۹/۷۴	۳۸/۴۴	۳۸/۴۲	۴۰/۱۲	۴۳/۵۴
حد خمیری	۳۷/۶۶	۳۴/۳۱	۳۷/۲۸	۳۸/۲۳	۴۱/۴۱
نشانه خمیری	۲/۰۸	۴/۱۳	۱/۱۴	۱/۸۹	۲/۱۳

جدول۵. نتایج حاصل از آزمایش تراکم در حضور ترمیم‌کننده ویژه

درصد ترمیم‌کننده ویژه	٪۱	٪۲	٪۳	٪۵	٪۷
وزن مخصوص خشک حداکثر(کیلونیوتن بر مترمکعب)	۱۶/۳۱	۱۶/۲۲	۱۶/۱۹	۱۶/۱۴	۱۶/۰۷
درصد رطوبت اپتیمم	۱۷/۱۱	۱۶/۸۷	۱۷/۲۳	۱۷/۵۳	۱۷/۶۴

جدول۶. مقادیر C_c ، C_s و C_r برای تمام نمونه‌ها.

تراکم	نمونه خاک	(C_c)	(C_s)	$(C_r)_1$	$(C_r)_2$
٪۸۵	خاک شاهد	۰/۱۵۳۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۴۲	۰/۱۱۴۴
	٪۱	۰/۱۲۸۷	۰/۰۴۴۲	۰/۰۷۲۸	۰/۱۵۲
	٪۲	۰/۱۵	۰/۰۱۵۳	۰/۰۶۱۴	۰/۱۵۴۲
	٪۳	۰/۱۴۵۶	۰/۰۲۶۲	۰/۱۱۴	۰/۱۹۱
	٪۵	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۲۴۹
	٪۷	۰/۱۳۷۳	۰/۰۳	۰/۳۴	۰/۱۴۸۹
٪۹۵	خاک شاهد	۰/۱۴۴۱	۰/۰۲۴۹	۰/۰۶	۰/۱۰۴۷
	٪۱	۰/۱۹۲۹	۰/۰۱۵۳	۰/۱	۰/۲۲۱۴
	٪۲	۰/۱۴۱۲	۰/۰۲۴۹	۰/۰۴۸۵	۰/۱۱۴۲
	٪۳	۰/۱۲۲۹	۰/۰۳	۰/۰۵۹	۰/۱۲
	٪۵	۰/۱۵۰۵	۰/۰۲۳	۰/۰۴۸	۰/۰۷۸
	٪۷	۰/۱۳۸۳	۰/۰۲	۰/۰۵۱	۰/۲۲۱۴
٪۱۰۰	خاک شاهد	۰/۱۲۵۲	۰/۰۱۵۳	۰/۰۴۸۵	۰/۷
	٪۱	۰/۱۲	۰/۰۲۱	۰/۰۲۴۲	۰/۰۹۱۴
	٪۲	۰/۱۶۲۲	۰/۰۳	۰/۰۳۸	۰/۱۳۱
	٪۳	۰/۱۱۶۲	۰/۰۲۳	۰/۰۲۸۶	۰/۱۳۱
	٪۵	۰/۱۴۷۷	۰/۰۳	۰/۰۳۶	۰/۰۹۹
	٪۷	۰/۱۱۷۱	۰/۰۱۶۶	۰/۰۵	۰/۰۹۹

همانطور که در جدول (۶) مشاهده می‌گردد، ضریب C_c در تراکم ۸۵٪ برای تمام درصدهای اضافه شده از ترمیم‌کننده بتن ویژه، کاهش یافته است. در تراکم ۹۵٪ بجز در درصدهای ۱ و ۵ از ماده افزودنی ترمیم‌کننده بتن ویژه، مقدار ضریب C_c کاهش یافته است. همچنین در تراکم ۱۰۰٪ بجز در درصدهای ۲ و ۵ از ماده ترمیم‌کننده بتن ویژه، مقدار ضریب C_c کاهش یافته است. همانگونه که در گذشته ذکر گردید، استفاده از ترمیم‌کننده ویژه در این تحقیق بدلیل خصوصیات مهندسی آن می‌باشد. این ماده بر پایه سیمان بوده و در ساختمان آن از چسب بتن استفاده گردیده است. استفاده از این ماده سبب پدیده سیمانی شدن ذرات خاک می‌گردد. این پدیده سبب کاهش ضریب فشردگی و نتیجتاً کاهش مقدار نشست خاک می‌شود. اندیس فشرگی ممکن است تابع پارامترهای مختلفی نظیر نسبت پوکی اولیهٔ خاک، وزن مخصوص خاک، رطوبت اولیهٔ خاک، رطوبت حد روانی، رطوبت حد خمیری، شاخص خمیرایی، حد انقباض و دیگر خصوصیات فیزیکی خاک باشند. استفاده از ترمیم‌کننده بتن ویژه به دلیل بر هم زدن تبادل الکترونی بین ذرات رس و ترمیم‌کننده ویژه، سبب تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله رطوبت حد روانی می‌گردد. لذا این تغییرات بر روی مقدار ضریب فشردگی و تغییرات آن تاثیرگذار خواهد بود. در تراکم ۸۵٪، زمانی که مقدار ترمیم‌کننده ویژه ۱٪ است، مقدار ضریب فشردگی ۲۰٪ کاهش می‌یابد که بیشترین مقدار کاهش در تراکم ۸۵٪ است. علاوه بر آن زمانی که ترمیم‌کننده ویژه ۲٪ باشد، مقدار ضریب فشردگی ۲٪ کاهش می‌یابد و این کمترین مقدار کاهش در این تراکم خواهد بود. در تراکم ۹۵٪، زمانی که ترمیم‌کننده بتن ویژه ۱٪ اضافه شود، مقدار ضریب فشردگی ۳۳٪ افزایش می‌یابد و همچنین وقتی ترمیم‌کننده بتن ویژه ۵٪ اضافه شود، مقدار ضریب فشردگی ۴٪ افزایش می‌یابد. همچنین وقتی مقدار ترمیم‌کننده بتن ویژه، به اندازه ۳٪ اضافه شود، مقدار ضریب فشردگی ۱۷٪ کاهش می‌یابد که این مقدار بیشترین مقدار کاهش این ضریب در تراکم ۹۵٪ خواهد بود. در تراکم ۹۵٪، کمترین مقدار کاهش ضریب تحکیم ۲٪ بوده و زمانی است که مقدار ترمیم‌کننده ویژه ۲٪ اضافه شود. ضریب فشردگی در تراکم ۱۰۰٪ به ازای ۲٪ و ۵٪ ترمیم‌کننده بتن ویژه، به ترتیب ۲۹ و ۱۸ درصد افزایش می‌یابد.

Archive of SID
www.SID.ir

زمانی که مقدار ترمیم‌کننده بتن ویژه ۳٪ اضافه شود، مقدار ضریب فشردگی ۸٪ کاهش می‌یابد و این بیشترین مقدار کاهش در تراکم ۱۰۰٪ است. کمترین مقدار کاهش در تراکم ۱۰۰٪ زمانی است که ترمیم‌کننده ویژه ۱٪ اضافه شود و مقدار این کاهش ۴٪ خواهد بود. از آنجا که وجود گچ، مقدار نشست خاک را افزایش داده و موجب تخریب سازه‌های احداث شده بر روی آن می‌گردد، لذا یافتن راهکاری مناسب جهت کاهش مقدار نشست در این نوع خاک‌ها موجب کاهش هزینه‌های احداث و تعمیر و نگهداری سازه‌ها می‌گردد. کاهش در مقدار ضریب فشردگی سبب می‌گردد که ابعاد سازه کوچکتر در نظر گرفته شود و همچنین می‌توان انتظار داشت که در طول عمر سازه، مقدار نشست کاهش یافته و سبب کاهش هزینه‌های ساخت سازه خواهد شد. ضریب C_s یا ضریب تورم‌پذیری در خاک‌های گچی بدلیل تورم‌پذیری این خاک‌ها قابل توجه خواهد بود. با توجه به جدول (۶) در تراکم ۸۵٪ این ضریب در بهترین حالت ۷۶٪ کاهش یافته است که در این حالت مقدار ترمیم‌کننده بتن ویژه ۲٪ بوده‌است. همچنین در تراکم ۹۵٪ نیز این ضریب در بهترین حالت ۶۳٪ کاهش داشته که در این حالت مقدار ترمیم‌کننده بتن ویژه ۱٪ بوده‌است. زمانی که تراکم ۱۰۰٪ اجرا گردید، مقدار ضریب C_s کاهش نیافت. در مورد ضریب پیش بارگذاری نیز مشاهده گردید که در تراکم ۸۵٪ ، هر دو ضریب افزایش یافته‌اند. ضریب پیش بارگذاری اول در تراکم ۹۵٪، بجز برای مقدار یک درصدی از ترمیم‌کننده ویژه، کاهش یافته است. این ضریب در بیشترین حالت ۲۰٪ و در کمترین حالت ۲٪ کاهش می‌یابد. دومین ضریب پیش بارگذاری فقط زمانی کاهش یافته است که مقدار ترمیم‌کننده بتن ویژه ۵٪ باشد و مقدار این کاهش، ۲۶٪ بوده‌است. اولین ضریب پیش بارگذاری در تراکم ۱۰۰٪، در تمامی درصدهای ترمیم‌کننده بتن ویژه، بجز ۷٪ کاهش یافته است. بیشترین مقدار این کاهش ۵۰٪ و کمترین مقدار آن ۲۱٪ است. دومین ضریب پیش بارگذاری، بجز در ۲ و ۳ درصد از ترمیم‌کننده بتن ویژه کاهش یافته است. این ضریب در این حالت ۸۶٪ کاهش یافته است. فرآیند تثبیت خاک رس با سیمان مشابه تثبیت با آهک است. از عمده‌ترین تاثیرات وجود گچ در خاک‌ها می‌توان بیان نمود که در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالاست، خاک پیرامون سازه اشباع می گردد. با انجام واکنش‌های شیمیایی بین آب، گچ و خاک، تخریب‌های شیمیایی در بتن سازه به وجود می‌آید. بالازدگی پوشش بتنی جداره کانالها به علت مرطوب شدن و در نتیجه افزایش حجم خاک گچ‌دار خشک (حاوی انیدرید) صورت می‌گیرد. در اثر اشباع شدن خاک، آب به عنوان یک کاتالیزور مناسب سبب افزایش فعل و انفعالات شیمیایی بین کاتیونهای موجود در خاک می‌گردد. در خاک اشباع به علت انحلال گچ، تخلخل و پوکی خاک افزایش یافته و نشست پذیری آن نسبت به خاک خشک افزایش و باربری آن کاهش می‌یابد. سطح بتن کانالها به علت تغییرات موضعی در تخلخل خاک زیر پوشش بتنی دچار اعوجاج می‌شود. ایجاد ترک در سطح بتن موجب افزایش نفوذ آب به درون خاک و ایجاد نشست‌های موضعی در زیر پوشش بتنی کانال‌ها می‌گردد. با افزایش وسعت این گونه تخریب‌ها، حفره‌هایی در زیر پوشش بتنی در کف یا جداره کانال‌های آبیاری و یا خاک پشت کانال و یا در کنار پی سازه‌ها ایجاد می‌شود. این حفره‌ها می‌توانند محل تمرکز آب و افزایش انحلال گچ و نهایتاً تخریب‌های وسیع آینده باشند. فرار آب از درزهای پوشش بتنی کانال، باعث تمرکز تراوش آب شده و انحلال سریع گچ در آب و شسته شدن خاک و تخریب کامل مقطع می‌گردد (منصوری‌کیا و محمدعلی‌زاده، ۱۳۸۶). از دیدگاه ساز ه‌ای بیش از ۴ درصد گچ در خاک عمدتاً سبب تخریب‌های سازه‌ای خواهد شد. گرچه اکثر محققین معتقد هستند که میزان خسارات وارده با مقدار گچ موجود در خاک تناسب ندارد، اما در اغلب موارد وجود گچ در خاک موجب مشکلات عمده‌ای در ساخت سازه‌ها و نیز کاهش عمر مفید آنها می‌گردد. تجربه نشان می‌دهد که رس‌های کلسیم‌دار به راحتی با اضافه کردن سیمان، پایدار می‌شوند، ولی رس هایی که دارای یون‌های سدیم و هیدروژن بیشتری هستند و طبیعت تورمی دارند، با آهک بهتر تثبیت میگردند. آهک دارای کلسیم می‌باشد بنابراین تبادل یون‌های کلسیم و سدیم بین گچ و آهک سبب تثبیت خاک می‌گردد. تثبیت با سیمان برای رس‌هایی که حدروانی کمتر از ۴۵ و نشانه خمیری کمتر از ۲۵ داشته باشند، عملکرد بهتری خواهد داشت (مجرد، ۱۳۷۵). ترکیبات ترمیم کننده بتن ویژه بر پایه سیمان ساخته شده است و در آن چسب بتن هم بکار رفته است. سخت شدن سیمان یک تحول شیمیایی فیزیکی می‌باشد که در نتیجه آن ترکیبات جدیدی حاصل می‌گردد. سیمان پس از تماس با آب و سیلیکاتری کلسیک تولید هیدروسیلیکات کلسیم و هیدروکسید کلسیم می‌نماید و سپس دوره کلوئیدی شدن شروع مزگردد که با ژل و به هم چسبیدن ذرات سیمان همراه است. پس از دوره کلوئیدی شدن، مرحله اشباع شدن که با تکمیل واکنش‌های هیدراسیون همراه است. بدیهی است که افزایش سیمان به خاک رس، بدلیل انجام واکنش شیمیایی و ایجاد مصالح سخت‌تر، مقاومت برشی، کششی و فشاری خاک‌های تثبیت شده بیشتر می‌گردد و این افزایش مقاومت با گذشت زمان نیز بیشتر می‌گردد که ضمن اینکه افزایش مقاومت بدلیل افزایش ضریب چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی می‌باشد. بدلیل افزایش مقاومت فشاری و کاهش تغییر شکل نسبی، مدول یانگ خاک‌های تثبیت شده با آهک و سیمان در منحنی تنش و کرنش افزایش می‌یابد (کرباسی راوری،۱۳۸۰). بنابراین با توجه به آثار شیمیایی و مکانیکی خاک تثبیت شده با سیمان می‌توان درصد مناسب را ازطریق آزمایش یافت. در مجموع می‌توان بیان داشت که با توجه به تفاوت ناچیز در قیمت سیمان و ترمیم کننده بتن ویژه و همچنین با در نظر گرفتن این نکته که حدود تقریبی سیمان لازم برای تثبیت خاکهای ریزدانه بین ۷ تا ۲۰ درصد وزن خشک خاک می‌باشد، استفاده از این ماده با درصدهای افزونی ذکر شده در این تحقیق اقتصادی خواهد بود. پدیده تحکیم بدلیل تاثیر فراوانی که بر روی تخریب سازه دارد، بسیار مهم است. بنابراین اگر بتوان در سازه‌های آبی سرعت تحکیم و مقدار نشست خاک را تا حد امکان کاهش داد، علاوه بر کاهش هزینه‌های اولیه ساخت سازه، از تخریب زود هنگام سازه در اثر پدیده نشست جلوگیری می‌گردد. همچنین چون خاک مورد مطالعه در این تحقیق خاک گچی می‌باشد و در اثر شسته شدن گچ در حضور آب، خصوصاً در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالاست، سرعت نشست خاک و نتیجتاً تخریب سازه‌های احداث شده بر روی آن بیشتر از خاک‌های غیر گچی است، یافتن راهکاری برای کاهش ضرایب تحکیم و فشردگی و نتیجتاً کاهش سرعت و میزان تحکیم برای سازه‌های آبی احداث شده در مناطقی با خاک گچی بسیار مفید است. ترمیم کننده ویژه بدلیل ایجاد حالت سیمانی شدن در خاک، سبب بهبود خواص مکانیکی خاک از جمله خواص تحکیمی خاک می‌گردد. لذا استفاده از آن در پروژه‌های عمرانی می‌تواند سبب کاهش هزینه‌های اولیه ساخت سازه‌ها، افزایش عمر و کاهش هزینه نگهداری و حفاظت از آنها شود و علاوه بر آن از تخریب آنها نیز جلوگیری نماید. در پایان با استفاده از ضرایب فشردگی و نسبت‌های پوکی اولیه محاسبه شده از طریق آزمایش تحکیم برای نمونه‌ها، رابطه‌ای برای برآورد ضریب فشردگی ارائه می‌گردد. این رابطه پس از برازش بهترین نمودار برای ضریب فشردگی و نسبت پوکی اولیه در آزمایشات تحکیم با استفاده از نرم‌افزار متلب بدست آمد. رابطه بدست آمده به شرح زیر می‌باشد:

(۷)

$$C_c=(a_1\times\sin((b_1\times x)+C_1))+(a_2\times\sin((b_2\times x)+C_2))+(a_3\times\sin((b_3\times x)+C_3))+(a_4\times\sin((b_4\times x)+C_4)+(a_5\times\sin((b_5\times x)+C_5)$$

در رابطه (۷) x نماینده e نسبت پوکی است و ضرایب موجود در این رابطه نیز در جدول (۷) بیان می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۷ . ضرایب رابطه (۷)

	a	b	c
۱	۰/۴۲۷۹	۶/۳۳۷	-۳/۹۵۸
۲	۰/۶۳۲۱	۱۰/۸۲	-۱/۲۳۴
۳	۰/۲۰۷۹	۶۴/۶۵	-۳/۸۲۴
۴	۰/۰۵۷۰۹	۸۹/۶۴	۱۱/۰۹
۵	۰/۳۵۲۴	۳۷/۱۴	۲/۰۹

رابطه (۷)، ضریب رگرسیونی برابر ۸۰/۹ ٪ داشته و همچنین مقدار RMSE نیز ۰/۰۱۹۴ بدست آمده است. این رابطه دارای ضریب رگرسیون بیشتری نسبت به روابط تجربی گذشته بوده و همچنین وابسته به نسبت پوکی اولیه است، بنابراین استفاده از آن به واقعیت نزدیکتر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصله در این تحقیق در بندهای ذیل مختصراً ذکر می‌گردد:

-در تراکم ۸۵٪، زمانی که مقدار ترمیم‌کننده ویژه ۱٪ است، مقدار ضریب فشردگی ۲۰٪ کاهش می‌یابد که بیشترین مقدار کاهش در تراکم ۸۵٪ است. در تراکم ۹۵٪، وقتی مقدار ترمیم‌کننده بتن ویژه، به اندازه ۳٪ اضافه شود، مقدار ضریب فشردگی ۱۷٪ کاهش می‌یابد که این مقدار بیشترین مقدار کاهش این ضریب در تراکم ۹۵٪ خواهد بود. در تراکم ۱۰۰٪ زمانی که مقدار ترمیم‌کننده بتن ویژه ۳٪ اضافه شود، مقدار ضریب فشردگی ۸٪ کاهش می‌یابد و این بیشترین مقدار کاهش در تراکم ۱۰۰٪ است.

-در تراکم ۸۵٪ ضریب C_s در بهترین حالت ۷۶٪ کاهش یافته است که در این حالت مقدار ترمیم‌کننده بتن ویژه ۲٪ بوده‌است. همچنین در تراکم ۹۵٪ نیز این ضریب در بهترین حالت ۶۳٪ کاهش داشته کفه در این حالت مقدار ترمیم-کننده بتن ویژه ۱٪ بوده‌است. زمانی که تراکم ۱۰۰٪ اجرا گردید، مقدار ضریب C_s کاهش نیافت.

-اولین ضریب پیش بارگذاری در تراکم ۱۰۰٪، در تمامی درصدهای ترمیم-کننده بتن ویژه، بجز ۷٪ کاهش یافته است. بیشترین مقدار این کاهش ۵۰٪ و کمترین مقدار آن ۲۱٪ است. دومین ضریب پیش بارگذاری، بجز در ۲ و ۳ درصد از ترمیم‌کننده بتن ویژه کاهش یافته است. این ضریب در این حالت ۸۶٪ کاهش یافته است.

-چون خاک مورد مطالعه در این تحقیق خاک گچی می‌باشد و در اثر شسته شدن گچ در حضور آب، خصوصاً در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالاست، سرعت نشست خاک و نتیجتاً تخریب سازه‌های احداث شده بر روی آن بیشتر از خاک‌های غیر گچی است، یافتن راهکاری برای کاهش ضرایب تحکیم و فشردگی و نتیجتاً کاهش سرعت و میزان تحکیم برای سازه‌های آبی احداث شده در مناطقی با خاک گچی بسیار مفید است.

-ترمیم کننده بتن ویژه ماده‌ای سیمانی می‌باشد به همین دلیل سبب ایجاد حالت سیمانی شدن در خاک می‌گردد. این حالت بدلیل تبادل کاتیونی بین گچ موجود در خاک و سیمان اتفاق می‌افتد. یافتن مقدار بهینه این ماده که سبب کاهش ضریب فشردگی می‌گردد، و استفاده از آن در پروژه‌های عمرانی می‌تواند سبب کاهش هزینه‌های اولیه ساخت سازه‌ها، افزایش عمر و کاهش هزینه نگهداری و حفاظت از آنها شود و علاوه بر آن از تخریب آنها نیز جلوگیری نماید.

منابع

احدیان، ج. (۱۳۸۳) برآورد شاخص شاخص فشردگی، Cc با استفاده از خصوصیات فیزیکی در منطقه در منطقه اهواز . پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز..

تاتلاری. س.، (۱۳۷۵)، "بررسی رفتار خاک‌های گچی در مجاورت سازه‌های آبی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

دریایی، م.،کاشفی پور، م.، احدیان، ج.، قبادیان، ر.(۱۳۸۸). مدلسازی شاخص فشردگی خاکهای ریزدانه به کمک شبکه ی عصبی مصنوعی و مقایسه با سایر روابط تجربی. مجله ی آب و خاک جلد ۲۴ شماره ۴، صص ۶۶۷-۶۵۹.

سهرابی. س.، (۱۳۹۰)، " بررسی تأثیر مواد پلیمری بر خصوصیات مکانیکی خاک‌های رمبنده به‌کار رفته در دایک‌ها و سواحل رودخانه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.

علیزاده، م.ر.ب.، (۱۳۸۸). "پایدارسازی خاک رمبنده با استفاده از تکنولوژی تزریق-مطالعه موردی راه آهن سمنان-دامغان." پایان نامه کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین.

قبادی، م.ح.، حیدری، م.، رفیعی، ب.، موسوی، س.، آریافر، ن.، (۱۳۹۲). "مطالعه خصوصیات ژئوتکنیکی ماسه سنگ‌های سازند آغاجری در شرق و جنوب شرق اهواز". مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۸ (۱۳۹۲).

کرباسی راوری، م.، (۱۳۸۰)، "بررسی روش‌های تثبیت خاک با استفاده از آهک و سیمان"، همایش ملی مدیریت اراضی – فرسایش خاک و توسعه پایدار. اراک.

مجرد، ر. (۱۳۷۵). " تسلیح خاک رس بوسیله الیاف مصنوعی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اراک.

منصوری‌کیا. م.، محمدعلی‌زاده. ر.، (۱۳۸۶)، " ترمیم ژئوتکنیکی یک کانال ساخته شده در خاک مسئله‌دار"، دومین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت تاسیسات آبی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه تهران.

ASTM (1958). Book of ASTM standards. Standard No. D 423-59T, "Tentative Method of test for liquid limit of soils," part 4, p. 1132.

ASTM (1958). Book of ASTM standards. Standard No. D 424-59, "Standard Method of test for Plastic limit and Plasticity Index of soils," part 4, p. 1137.

Archive of SID
www.SID.ir

ASTM (2004). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Soil and Rock (I). Standard No. D 427-98, "Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method," West Conshohocken, PA, pp. 22–25.

ASTM (2004). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Soil and Rock (I). Standard No. D 854-02, "Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer," West Conshohocken, PA, pp. 96–102.

ASTM (2004). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Soil and Rock (I). Standard No. D 698-00, "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort," West Conshohocken, PA, pp. 81–91.

ASTM (2004). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Concrete and Concrete Aggregates. Standard No. C928-05, "Standard Specification for Packaged, Dry, Rapid-Hardening Cementitious Materials for Concrete Repairs," West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

ASTM (2004). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Concrete and Concrete Aggregates. Standard No.C1583-04, "Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)," West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Cavalieri,K.,M.,V.,Arvidsson,J.,Piers da Silva,A.,Keller.T.2008. Determination of pre-compression stress from un-axial compression tests. Soil & Tillage Research Vol. 98, pp.17–26.

Chai, J., Sheng, D., Carter, J. P. and Zhu, H., (2012). "Coefficient of consolidation from non-standard piezocone dissipation curves.Journal of Computers and Geotechnics, Vol.41, pp:13-22.

Horpibulsuk. S., Chinkulkijniwat. A., Cholphatsorn. A., Suebsuk. J., Liu. M. D., (2012) , "Consolidation behavior of soil–cement column improved ground", Computers and Geotechnics, 43.

Nagaraj, T., and Murty B.R.S.1985.Predication of the predication of the pre-consolidation pressure and recompression index of soil. Geotechnical Testing Journal. Vol.8.no.4. 199-202.

Nishida, Y. 1956. Abrief note on compression index of soil. Journal of the Soil Mechanic and Foundation Engineering Division. ASCE. Vol. 82 (SM3): pp. 1027-1-1027-14.

Oswald, R.H. 1980.Universal compression index equation. Journal of Geotechnical Engineering Division.ASCE.106:1179-1199.

Park. H. and Lee. S. R., (2011), "Evaluation of the compression index of soils using an artificial neural network", Computers and Geotechnics, Vol.38, pp. 472–481.

Park,J.H.,and Koumoto, t. 2004. New compression index equation. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE. 130(2) pp.223-226.

Ple, O., Le, (2012). "Effect of polypropylene fiber-reinforcement on the mechanical behavior of silty clay". Geotextiles and Geo-membranes, 32.

Rendon-Herrero, O. 1980. Universal compression index equation. Journal of Geotechnical Engineering Division.ASCE.Vol. 106(11) pp.1179-1200.

Saffih-hdadi,K., Defossez,P., Richard,G., Cui,Y.J., Tang,A.M., Chaplain.V. (2009). A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. Soil & Tillage Research.Vol.105,pp.96-103.

Shipton, B., Coop, M.R., (2012). "On the compression behaviour of reconstituted soils", Soils and Foundations, Vol. 52, pp. 668-681.

Sketmpton, A. W. 1944.Notes on the compressibility of clays. Quarterly Journal of the Geotechnical Society of London. Vol.100.pp.110-135.

Terzaghi, K. (1925). "Erdbaumechanik ouf boden physikalischer Grundlage". Deuticke, Vienna, Austria.

Tsutsumi, A., Tanaka, H., (2012). " Combined effects of strain rate and temperature on consolidation behavior of clayey soils", Soils and Foundations, Vol. 52, pp. 207-215.

Wang. S.Y., Chan, D.H. and Lam, K.C, (2011). "Laboratory study of static and dynamic compaction grouting in triaxial condition", journal of Geomechanics and Geoengineering, Vol. 6, No. 1, pp. 9-19.

Yilmaz. I., Civelekoglu. B., (2009). "Gypsum: An additive for stabilization of swelling clay soils", Applied Clay Science, 44, pp. 166–172.

Zhang. L., Solis. R., (2008). "Fly-Ash-stabilized gypsiferous soil as an embankment material", Liu, Deng and Chu (eds) © 2008 Science Press Beijing and Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg, Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation.

Archive of SID

www.SID.ir