

## تأثیر اسیدیته محیط بر مشخصات مکانیکی و حجمی خاک رس

### تورمی بستر روسازی راه

#### مقاله پژوهشی

سعید غفارپورچهرمی\*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

اشکان نوری، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی پویندگان دانش، چالوس، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Saeed\_ghf@sru.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۱/۱۹ - پذیرش: ۹۹/۰۵/۲۵

صفحه ۱۶۷-۱۵۵

#### چکیده

در این تحقیق تاثیر شرایط محیطی از نظر درجه اسیدیته یا  $pH$  بر مشخصات مکانیکی و حجمی خاک بستر روسازی راه‌های حاوی خاک‌های رسی تثبیت شیمیایی شده با سیمان توسط آزمایش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش خاک رس تورم‌زا با تثبیت شیمیایی توسط سیمان پرتلند نوع دو در سه دوره زمانی عمل‌آوری کوتاه مدت، میان مدت و دراز مدت (۳، ۷ و ۴۰ روزه) در شرایط  $pH$  متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در این تحقیق نمونه خاک در محیط اسیدی تا قلیایی با درجه اسیدیته ۴، ۷ و ۱۰ تحت آزمایش‌های مختلف به منظور ارزیابی رفتار و خصوصیات مکانیکی و حجمی قرار گرفتند. آزمایش‌های ارزیابی مشخصات مکانیکی در این تحقیق شامل آزمایش تراکم، مقاومت تک محوری و نسبت باربری کالیفرنیا هستند که در شرایط مختلف از نظر درجه اسیدیته و زمان عمل‌آوری انجام شده است. همچنین به منظور ارزیابی مشخصات حجمی میزان تورم در آزمون باربری کالیفرنیا و همچنین ضریب تغییر حجم در آزمایش تحکیم استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که تثبیت خاک رس با سیمان باعث افزایش مقاومت مکانیکی و کاهش تغییر حجم و تورم خاک متناسب با گذشت زمان و دوره عمل‌آوری می‌شود اما شرایط محیطی و درجه اسیدیته بر سرعت و شدت واکنش‌های شیمیایی خاک و سیمان و فرآیند هیدراتاسیون بسیار تاثیر گذار است که مقدار آن متناسب با میزان  $pH$  و دوره عمل‌آوری نمونه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: درجه اسیدیته، مشخصات مکانیکی، مشخصات حجمی، خاک رس، بستر روسازی، تثبیت شیمیایی، سیمان

#### ۱-مقدمه

ریزدانه رسی داشته باشند. تمایل به جذب آب در این ذرات و تغییر در رطوبت طبیعی خاک در اثر تغییر آب و هوای محل، موجب می‌شود که خاک گاه تا حد درصد رطوبت حد پلاستیک مرطوب شده و سپس تا پایین‌تر از حد انقباض، رطوبت خود را از دست دهد. جذب رطوبت باعث ازدیاد حجم خاک و از دست دادن آن، باعث انقباض و کاهش حجم خاک می‌شود. تغییرات حجمی ناشی از تغییر درصد رطوبت خاک، باعث وارد آمدن خسارت به سازه‌های موجود

بستر روسازی راه، سطح لایه متراکم شده خاکریزها یا زمین طبیعی موجود و یا اصلاح شده است. این بستر طبق مشخصات فنی آماده و اولین قشر روسازی راه روی آن قرار می‌گیرد. بستر روسازی کلیه بارهای وارده ناشی از جسم روسازی و وسایل نقلیه روی آن را تحمل می‌کند. در بسیاری از مناطق بستر راه از خاک‌های رسی تشکیل شده‌اند که می‌توانند رفتار توری زیادی داشته باشند. رفتار تورمی معمولاً در خاک‌هایی مشاهده می‌شود که به اندازه لازم ذرات

عمرانی از سیمان پرتلند نوع یک یا دو استفاده می‌شود. در مواردی که خاک حاوی حداکثر ۱۰٪ سولفات باشد یا آب مصرفی حاوی بیشتر از ۱۵۰ قسمت در میلیون سولفات باشد از سیمان نوع دو استفاده می‌شود (Bhattacharja et al. 2003). بر اساس توصیه صورت گرفته، سیمان مورد نیاز برای تثبیت موثر خاک‌های رسی که براساس روش رده‌بندی متحد در رده‌ی رس با خاصیت خمیری کم یا CL قراردارند، بین ۵ تا ۱۲٪ وزن خاک مصرفی می‌باشد (Bhattacharja et al. 2003).

گراتچیو و همکارش (۲۰۰۹) به بررسی رفتار خاک‌های ریزدانه در سطوح مختلف  $pH$  تحت بار سیکیلی پرداختند و دریافتند که تغییرات  $pH$  میتواند بر استعداد روانگرایی خاک ماسه تاثیر گذار باشد. این تغییرات به طور وسیعی به خصوصیات خمیری ترکیبات معدنی رس در آن خاک و همچنین درجه اسیدیته بستگی دارد. بهترین تاثیر در درجه اسیدیته متوسط رخ می‌دهد. در اسیدیته متوسط ترکیب ماسه-کائولین باعث افزایش اندک مقاومت در برابر روانگرایی خواهد شد در حالیکه در ترکیبات ماسه-ایلیت و ماسه-بتنویت، مقاومت در برابر روانگرایی کاهش خواهد یافت (Gratchev and Ivan, 2009). یو و همکارش (۲۰۱۳) به بررسی تاثیر مشخصات مکانیکی خاک سیمانی شده تحت مقادیر مختلف  $pH$  پرداختند و دریافتند که در محیط خنثی، مقاومت خاک تثبیت شده با سیمان می‌تواند به اوج خود برسد. در کاربردهای عملی تاثیر تغییرات اسیدیته محیط باید در نظر گرفته شود و ضریب کاهش مقاومت باید لحاظ شود. علاوه بر این استفاده از سیمان‌های خاص نظیر سیمان پوزولانی و روباره‌ای در محیط‌های قلیایی بیشتر توصیه می‌شود (Yu and Yang, 2013). رگینالد و همکارش (۲۰۱۲) به بررسی رفتار واگرایی خاک تحت تاثیر  $pH$  و دیگر مشخصات عملکردی خاک‌های آلوده به زباله و تثبیت شده با سیمان پرداختند و دریافتند که نمونه‌های متراکم شده در رطوبت بهینه، بهترین عملکرد مکانیکی در برابر واگرایی از خود نشان می‌دهد (Reginald and Kogbar, 2012). سانیل و همکارانش (۲۰۰۹) به بررسی تاثیر سیمان بر خواص ژئوتکنیکی نوعی خاک رس واشنگتن پرداختند و دریافتند که عمل‌آوری با سیمان منجر به افزایش قابل توجه در مقاومت فشاری محصورنشده و سختی خاک

در سطح خاک می‌شود. این نشان دهنده اهمیت مطالعات لازم برای شناسایی رفتار تغییر حجم و فشار توری خاک‌های ریزدانه است. پتانسیل تغییر حجم به طور مستقیم به میزان فعالیت کانی رسی غالب در خاک و به عبارت دیگر به پلاستیسیته خاک بستگی دارد. در کنار مجموعه عواملی که بیان کننده ترکیبات خاک هستند، مجموعه عوامل محیطی نیز در آزاد شدن این پتانسیل موثرند. خاک بعنوان یکی از پوشش‌های سطح زمین، اولین و مهمترین بخش در اجرای هر پروژه مهندسی بوده که مهندسان با آن مواجه هستند. برخی از این خاک‌ها در پروژه‌های مهندسی مشکل آفرین هستند که بعنوان خاک‌های مسئله‌دار شناخته می‌شوند. از جمله این مشکلات می‌تواند تغییرات در خصوصیات رفتاری خاک یعنی مشخصات حجمی، مکانیکی و مقاومتی در زمان جذب آب باشد که خسارت‌های زیادی را باعث خواهد شد. لذا چگونگی شناسایی و برخورد با این نوع خاک‌ها، موضوع بسیاری از مطالعات و تحقیقات در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. اهداف در بهسازی خاک بسیار متعدد و شامل افزایش مقاومت، کاهش نشست و افزایش دوام است. در بررسی مطالعات پژوهشگران مختلف برای بهبود خصوصیات رفتاری بستر خاک از افزودنی‌های مختلف همچون سیمان، آهک، قیر، خاکستر بادی و غیره استفاده شده و مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته است (Lin et al. 2007, Munfakh 1997, Hausmann 2005, Indraratna et al. 2012, Lo and Wardani 2002).

خاک‌های ریزدانه رسی که ذاتا دارای مقاومت بسیار کم و قابلیت تراکم‌پذیری بالایی هستند به صورت گسترده‌ای در مناطق ساحلی وجود دارند و شهرهای مهم دنیا در چنین نقاطی قرار گرفته‌اند. از اینرو مهندسين ژئوتکنیک همواره به دنبال روشهایی برای اصلاح و بهبود خواص مهندسی این خاک‌ها با روشهای مناسب سطحی یا اصلاح خاک در عمق بوده‌اند. یکی از روش‌های رایج اصلاح خاک، تثبیت شیمیایی با استفاده از سیمان یا آهک می‌باشد که در آسیا به دلیل مؤثرتر بودن سیمان نسبت به آهک، بیشتر از این ماده استفاده می‌شود (Ampera and Aydogmus, 2005). به طور کلی هر نوع خاکی که عاری از مواد شیمیایی نظیر سولفات‌ها و همچنین مواد آلی باشد قابلیت تثبیت شدن با سیمان را دارد (Bhattacharja et al. 2003). در اکثر فعالیت‌های

دوم و عمل‌آوری مورد کاوش قرار گرفته است. تاثیر درجه اسیدیته آب بر روی بتن سخت شده مورد تحقیق بسیاری از محققان بوده است اما این موضوع کمتر در ارتباط با خاکهای تثبیت شده با سیمان مورد بررسی قرار گرفته است. این تاثیر تابع درجه اسیدیته خاک نیز می‌باشد. میزان  $pH$  خاک یکی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی برجسته محلول خاک بوده و در خواص فیزیکی، شیمیایی و زیست شناختی آن تاثیر زیادی دارد. بسیاری از واکنش‌های شیمیایی و زیست شیمیایی خاک تنها در  $pH$  مشخصی از آن رخ می‌دهد.

عوامل متعددی می‌تواند سبب آلودگی خاک و بروز شرایط محیطی اسیدی یا قلیایی شود. دفن پسماند شهری یکی از روش‌های مقرون به صرفه جهت دفع زباله از محیط زندگی بشر می‌باشد، در این روش زباله‌ها در لایه‌هایی از خاک پخش و متراکم شده و در انتهای کار با لایه دیگری از خاک پوشانده خواهند شد. دفن زباله بدین طریق باعث انتشار شیرابه حاصل از آن در خاک و محیط اطراف می‌گردد که در صورت عدم هدایت و جمع‌آوری مناسب، آثار جبران ناپذیری بر روی محیط و خاکهای اطراف دارد (Dutta and Mishra, 2016). مواد شیمیایی حاصل از شیرابه زباله‌ها یا به صورت مواد جذبی توسط ذرات خاک جذب می‌شوند یا به صورت مایع حل‌نشده بین ذرات خاک محبوس می‌شوند. با گذشت زمان، مواد شیمیایی حاصل از شیرابه زباله که جذب ذرات خاک گشته‌اند، در بافت خاک پخش شده و سبب آلودگی خاک در گستره بیشتری می‌گردند. از طرفی جریان‌های سطحی، آب حاصل از بارش باران و برف و آبهای زیر زمینی این مواد را با خود حمل و به مناطقی دورتر از مجاورت محل دفن زباله انتقال می‌دهند و در دراز مدت منافذ بین ذرات خاک را تا حد قابل توجه و یا بصورت کامل پر خواهند کرد که تأثیر قابل توجهی بر رفتار و خصوصیات خاک و همچنین محیط اطراف آن دارند (Goswami and Choudhury, 2013).

با توجه به رشد روز افزون جمعیت، زباله‌های جامد شهری یکی از عوامل مهم آلودگی خاک به شمار می‌رود. چنانچه دفن زباله بدون روش‌های پیش‌اصلاحی و در دپوهای روباز انجام گیرد و از طرفی نرخ بارش باران در آن ناحیه بیشتر از سرعت تبخیر آن باشد، آنوقت آب در محیط دفن باقی مانده و با ترکیب ذرات زباله‌های شهری شیرابه

می‌شود بطوریکه خاک‌های عمل‌آوری شده با سیمان رفتار به مراتب شکننده‌تری را قیاس با خاک‌های عمل‌آوری نشده نشان دادند (Sunil et al. 2009). ونگ و همکارانش (۲۰۱۴) به بررسی اثر  $pH$  باران‌های اسیدی بر روی رفتار و آگرایی خاک‌های آلوده به سرب که با سیمان تثبیت شده‌اند پرداختند که نتایج تحقیقات آنها نشان داد با افزایش مقدار سیمان از ۱۲ تا ۱۸ درصد منجر به کاهش جدایش مقدار سرب و کلسیم تحت تاثیر آب اسیدی خواهد شد (Wang et al. 2014). پمینگ و همکارانش (۲۰۱۶) به بررسی تاثیر ترکیب سیمان و  $pH$  محیط بر مقاومت خمیر سیمان پرتلند و دیگر سیمان‌ها پرداختند که نتایج این مطالعه نشان داد مخلوط سیمان حاوی میکروسیلیس و خاکستر بادی (در نسبت وزنی ۴۰٪) عملکرد بهتری نسبت به تمام سیمان‌های پرتلند مورد استفاده از خود نشان دادند. همچنین مشخص شد که ترکیب ۴۰٪ خاکستر بادی، ۵٪ میکروسیلیس و سرباره (۸٪)، عملکرد کلی خوبی در ارتباط با مقاومت در برابر حمله سولفاتی و محیط‌های قلیایی فراهم می‌کند (Pming et al. 2016). درجه اسیدیته یا  $pH$  (Potential of Hydrogen) بیانگر غلظت یون هیدروژن یک کمیت لگاریتمی است که میزان اسیدی یا بازی بودن مواد را مشخص می‌کند. گستره بازه  $pH$  در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد (معادل ۲۹۸ کلوین) از صفر تا ۱۴ می‌باشد که عدد صفر اسیدی‌ترین محیط و عدد ۱۴ قلیایی‌ترین محیط را مشخص می‌کند. در چنین دمایی هر محلولی با  $pH$  معادل ۷ خنثی در نظر گرفته می‌شود که آب خالص چنین خصوصیتی دارد و در دمای ۲۵ درجه کاملاً خنثی است. کیفیت آب در تثبیت شیمیایی خاک از آن جهت حائز اهمیت است که ناخالصی‌های موجود در آن ممکن است در هیدراتاسیون و واکنش‌های شیمیایی سیمان و گیرش آن اثر گذاشته و اختلالاتی به وجود آورند. خصوصیات آب بر واکنش‌های شیمیایی سیمان و تثبیت شیمیایی خاک در سه مرحله تاثیرگذار است که در مرحله اول اثر آب مورد استفاده در شروع هیدراتاسیون و واکنش‌های شیمیایی دوغاب سیمان و در مرحله دوم اثر آب مورد استفاده در عمل‌آوری (تکمیل واکنش‌های شیمیایی و هیدراتاسیون) و در مرحله سوم اثر آب پس از سخت شدن خمیر سیمان در دراز مدت می‌باشد. در این تحقیق شرایط محیطی پس از تثبیت شیمیایی یعنی مرحله

شرایط محیطی حاصل از زباله‌های مختلف تولیدی توسط بشر بر روی خاک را بیشتر از پیش نشان می‌دهد. با بررسی تحقیقات مختلف مشخص شد که درجه اسیدیته می‌تواند بر مشخصات فیزیکی، مکانیکی و حجمی مصالح ژئوتکنیکی خاک تاثیرگذار باشد. بر این اساس در این تحقیق و با هدف بررسی تاثیر درجه اسیدیته محیط بر تغییر مشخصات مکانیکی و حجمی خاک‌های اصلاح شده با سیمان خواهیم پرداخت.

## ۲- مواد و مصالح مصرفی

### ۲-۱- خاک

خاک مورد استفاده در این تحقیق، نوعی خاک رس مسئله دار متورم شونده می‌باشد که از منطقه لشتو شهرستان تنکابن در استان مازندران گرفته شده است. رسوبات سطحی محدوده عمدتاً از خاک‌های رسی نرم تشکیل شده‌اند. سپس به منظور تعیین مشخصات فیزیکی آن، آزمایش‌هایی براساس استانداردهای *ASTM D-4318* و *ASTM D-854* بر روی نمونه‌ی خاک مینا انجام گرفت که خلاصه نتایج آن در جدول شماره ۱ آورده شده است. با توجه به این نتایج، در طبقه‌بندی یونیفاید (USCS) این خاک از نوع *CL* به حساب می‌آید. برای شناسایی و ارزیابی میزان تورم خاک از روش مستقیم استفاده شده است. ارزیابی مستقیم پتانسیل تورم به معنی اندازه‌گیری مستقیم فشار تورم و درصد تورم خاک است. جدول ۲ نتایج حاصل از اندازه‌گیری مستقیم درصد و فشار تورم، به روش *A* در استاندارد *ASTM D-4546* را نشان می‌دهد. (ASTM D4546).

### ۲-۲- مشخصات سیمان مصرفی

سیمان استفاده شده در این تحقیق، تهیه شده از شرکت سیمان تهران و از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ است. این سیمان طبق استاندارد ملی ایران به شماره *ISIRI 389* تولید می‌شود و یک سیمان با حرارت هیدراتاسیون متوسط است، که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول شماره ۳ و ۴ آورده شده است. این نوع سیمان به لحاظ مواد اولیه دارای ترکیب مشابه با سیمان پرتلند نوع یک می‌باشد اما بدلیل اینکه میزان آلومینات (*C<sub>3</sub>A*) آن کمتر از ۸ درصد است، مقاومت بیشتری در برابر حمله سولفات‌ها دارد. این سیمان

حاصل می‌شود. عدم اجرای سیستم‌های جمع آوری شیرابه و نیز پوشش‌های پایانی خاکریز، سبب نفوذ بیشتر شیرابه حاصل از زباله به خاک اطراف می‌شود. نفوذ شیرابه حاصل از زباله به زمین‌های اطراف محل دیو، سبب آلودگی بیشتر خاک شده و انتظار می‌رود که تأثیر مستقیم بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک داشته باشد که در نتیجه سبب تغییر در رفتار حجمی، مقاومت برشی و هیدرولیکی خاک می‌شود. برای جلوگیری از نفوذ بیشتر شیرابه به آبهای زیرزمینی، از خاک رس و یا بتونیت با نفوذ ناپذیری بالا استفاده می‌شود از این رو بسیاری از محققین به بررسی تأثیر شیرابه‌های موجود در خاکریزها و یا محلول‌های شیمیایی با پایه نمک و یا فلزات موجود در شیرابه‌ها بر روی خاک رس و بتونیت پرداخته‌اند (Harun et al. 2013).

هدایت هیدرولیکی خاک‌های رسی وابسته به مشخصات سیال درون حفرات می‌باشد. مطالعات آزمایشگاهی گسترده‌ای بر روی بررسی تأثیر اجزای شیرابه روی خاک‌ها صورت گرفته است. پژوهشگران با بررسی تأثیر شیرابه زباله با *pH* قلیایی بر روی خاک رسی بیان داشتند که ذرات بزرگتر شیرابه، در بین دانه‌های ریز رس قرار گرفته و سبب کاهش هدایت هیدرولیکی آن شده است (Estabrag et al. 2014). همچنین هنگامی که از شیرابه اسیدی ( $pH < 7$ ) استفاده شود، مقدار هدایت هیدرولیکی افزایش یافته است. مواد معدنی بین خاک توسط شیرابه حل شده و تخلخل افزایش یافته و در نتیجه هدایت هیدرولیکی نیز افزایش یافته است (Estabrag et al. 2014).

همانطور که بیان شد برای جلوگیری از پخش شیرابه در آب‌های زیرزمینی از خاک‌های رسی که نفوذپذیری کمتری دارند استفاده می‌شود. از اینرو اکثر پژوهشگران به بررسی تاثیر شرایط محیطی اسیدی و قلیایی بر روی خاک‌های رسی پرداخته‌اند که به همین علت در این تحقیق نیز خاک رسی انتخاب شده است. از طرفی اهمیت موضوع گسترش روزافزون جمعیت و ساخت و ساز در حومه شهرهای بزرگ باعث شده است که بسیاری از مناطق دفن زباله، محل ساخت و ساز و اسکان جمعیت بشود. بنابراین از یک نظر، افزایش گسترش ترکیبات شیمیایی حاصل از زباله‌های روز افزون انسانی و از نظر دیگر، کمبود زمین لازم برای ساخت و اسکان جمعیت در حال گسترش، اهمیت بررسی تأثیر

معروف به سیمان پرتلند اصلاح شده است و حرارت هیدراتاسیون کمتری ایجاد می‌کند و با روند آهسته‌تری سخت می‌گردد.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی خاک رس مورد استفاده در تحقیق

نوع کانی	pH	چگالی نسبی $G_s$	وزن مخصوص خشک $gr/cm^3$	درصد رطوبت طبیعی	رده‌بندی خاک (USCS)	حدود اتربرگ			پتانسل تورم
						PI	PL	LL	
کائولن	۷/۵۹	۲/۶۴	۱/۹	۲۱	CL	۲۸	۲۱	۴۹	زیاد

جدول ۲. درصد تورم و فشار تورم

نوع خاک	فشار تورم (kPa)	درصد تورم	تورم پذیری
CL	۱۶/۱۵	۶/۳۷	زیاد
	۱۲/۴۵	۴/۸۱	زیاد
	۸/۶۵	۲/۶۸	زیاد

جدول ۳. مشخصات فیزیکی سیمان نوع ۴۲۵ طبق استاندارد ملی شماره ۳۸۹

مقاومت فشاری $kg/cm^2$			زمان گیرش اولیه	انقباض اتوکلاو	سطح مخصوص $gr/cm^2$	نام مشخصه
۲۸ روزه	۲ روزه	نهایی				
بیش از ۳۸۵	بیش از ۷۰	کمتر از ۶ ساعت	بیش از ۴۵ دقیقه	کمتر از ۰/۸٪	بیش از ۲۸۰۰	مقدار در استاندارد ۳۸۹

جدول ۴. مشخصات شیمیایی سیمان نوع ۲ طبق استاندارد ملی شماره ۳۸۹

نام مشخصه	$SiO_2$	$AL_2O_3$	$Fe_2O_3$	$MgO$	$C_3A$	باقی مانده نامحلول	کاهش وزن در اثر حرارت
مقدار در استاندارد ۳۸۹	۲۰	۶	۶	۵	۸	۰/۷۵	۳

## ۲-۱- مشخصات بافر مصرفی

محلول‌های بافر (تامپون) دارای درجه اسیدیته تا حدودی ثابت هستند که حتی وقتی مقادیر کم اسید یا قلیایی به آنها اضافه می‌شود، درجه اسیدیته آنها محفوظ می‌ماند. در این تحقیق به منظور ثابت نگه داشتن درجه اسیدیته محیط عمل‌آوری نمونه‌ها، از محلول بافر استفاده شده است که مشخصات آن جدول ۵ ذکر شده است.

محلول بافر یک محلول شیمیایی با pH ثابت و معین است که از یک اسید ضعیف و نمک آن یا یک باز ضعیف و نمک آن ساخته می‌شود. چنانچه این محلول در معرض هوا قرار گیرد، دی‌اکسید کربن (یک ایندرید اسید) جذب می‌کند و اسیدی‌تر می‌شود. چنانچه محلول در ظرف شیشه‌ای ذخیره شود، ناخالصی‌های قلیایی که در اثر خیس شدن شیشه شسته می‌شود، ممکن است pH را تغییر دهد. درحالی‌که

جدول ۵. مشخصات بافر مصرفی

درجه اسیدیته	نوع محیط
۴	اسیدی
۷	خنثی
۱۰	بازی

### ۲-۲- مشخصات آب مصرفی

مواد مضر نظیر ترکیبات اسیدی یا مواد آلی بوده و درجه اسیدیته آن حدود ۷/۳ است. دیگر مشخصات شیمیایی آب مصرفی در جدول ۶ نشان داده شده است.

از آنجایی که در کارهای عملی از آب شرب برای هیدراتاسیون سیمان استفاده می‌شود، در این تحقیق نیز تصمیم گرفته شد از آب شرب برای ساخت دوغاب سیمان در نمونه‌ها استفاده شود. آب شرب مورد استفاده عاری از

جدول ۶. مشخصات آب مصرفی

مقدار بر حسب <i>ppm</i>	ترکیبات شیمیایی موجود در آب
۳۲۹/۴	$HCO_3$
۱۴/۲	$CL$
۹/۶	$SO_4$
۹۲	$Ca$
۱۴/۴	$Mg$
۶/۹	$Na$
۲/۳	$K$

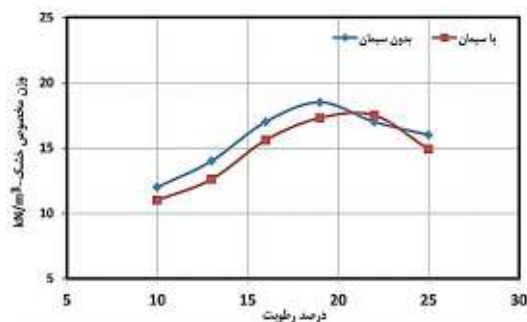
### ۳- نحوه ساخت نمونه‌ها

مخصوص خشک حداکثر مقدار ۱۸ کیلونیوتن بر مترمکعب قابل تخمین است. مقایسه هر دو منحنی تراکم نشان می‌دهد که با افزودن سیمان رطوبت بهینه به میزان ۲/۵ درصد و وزن مخصوص خشک حداکثر به میزان یک کیلونیوتن بر مترمکعب تغییر می‌یابد. علت این امر را می‌توان به واکنش شیمیایی در فضای حفره‌ای خاک مابین سطح ذرات رس و محیط سیمانی نسبت داد (Bhattacharja et al. 2003). همانطور که از منحنی تراکم مشاهده می‌شود، با افزودن غلظت سیمان در خاک، برای تراکم خاک احتیاج به رطوبت بیشتری است و حتی با افزایش رطوبت نمی‌توان به مقدار تراکم بیشینه در حالت غیر سیمانی رسید؛ می‌توان دلیل آن را همانگونه که پژوهشگران دیگر بر روی تأثیر سیمان بر روی

به منظور ساخت نمونه‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و تعیین مشخصات مکانیکی و حجمی آنها تحت تاثیر درجه اسیدیته محیط، در این تحقیق ابتدا با آزمایش تراکم مطابق استاندارد *ASTM D698*، درصد رطوبت خاک بهینه و وزن مخصوص خشک حداکثر تعیین شد که منحنی تراکم آن در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس این آزمایش رطوبت بهینه خاک ۱۸/۵ درصد و وزن مخصوص خشک حداکثر متناظر ۱۹ می‌باشد. سپس با انتخاب ۵ درصد سیمان (بر اساس مرجع شماره ۲۴)، بعنوان ماده تثبیت کننده، منحنی تراکم برای خاک اصلاح شده با سیمان نیز بدست آورده شد که نتایج آن در شکل ۱ نشان داده است. برای خاک اصلاح شده با ۵ درصد سیمان، رطوبت بهینه ۲۱ درصد و وزن

فضای بسته قالب تراکم، حضور این ذرات مابین فضای حفره‌ای خاک سبب پر شدن آن شده، از اینرو در حجم ثابت مقدار خاک کمتری قرار خواهد گرفت و در نتیجه مقدار وزن مخصوص خشک خاک کاهش می‌یابد.

خاک رسی پرداخته‌اند و بیان داشتند که ذرات بزرگتر سیمان در بین دانه‌های ریز رس قرار گرفته و سبب کاهش هدایت هیدرولیکی آن نیز شده است (Ampera and Aydogmus, 2005). اینگونه می‌توان نتیجه گرفت که در



شکل ۱. منحنی تراکم خاک اصلاح نشده و اصلاح شده با سیمان

$$m_v = \frac{\frac{\Delta e}{\Delta \sigma}}{1 + e_0} \quad (2)$$

#### ۴- دوره عمل‌آوری نمونه‌ها

دوره عمل‌آوری نمونه‌ها در این تحقیق به مقدار ۷، ۳ و ۴۰ روز (کوتاه مدت، میان مدت و درازمدت) انتخاب شدند. هر چند در برخی مراجع عمل‌آوری ۹۰ روزه ملاک ارزیابی درازمدت می‌باشد اما در این تحقیق به دلیل محدودیت‌های زمانی از عمل‌آوری ۴۰ روزه استفاده شده است که نتایج آن اختلافی کمتر از ۱۵ درصد با نمونه‌های ۹۰ روزه دارند (Bhattacharja et al. 2003). نسبت تغییرات عمل به منظور بررسی تاثیر درجه اسیدیته محیط، نمونه‌ها در شرایط محیطی مختلف از نظر درجه اسیدیته شامل ۴، ۷ و ۱۰ (اسیدی، خنثی و قلیایی) نگهداری شدند. بدین منظور نمونه پس از ساخت درون یک پارچه آغشته به محلول بافر متناسب با درجه اسیدی قرار داده شدند و سپس در طول دوره عمل‌آوری درون یک نایلکس چند لایه قرار داده شدند تا رطوبت آنها حفظ شود. همچنین به منظور دسترس بودن رطوبت جهت تکمیل فرآیند خودگیری شیمیایی سیمان، هر ۳ روز یکبار پارچه اطراف هر نمونه (برای آزمایش تک محوری) توسط محلول بافر متناسب بصورت اسپری کردن، مرطوب نگهداشته می‌شد. در حالیکه برای نمونه‌های آزمایش باربری کالیفرنیا، به دلیل محدودیت در تعداد و جنس قالب فلزی CBR، با استفاده از لوله‌های

در این تحقیق ارزیابی مشخصات مکانیکی خاک با انجام آزمایش مقاومت تک محوری (محصورنشده) و آزمایش باربری کالیفرنیا مورد بررسی قرار گرفته است. از آزمایش باربری کالیفرنیا به منظور ارزیابی وضعیت بستر راه استفاده می‌شود که نتایج این تحقیق می‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی بستر تثبیت شیمیایی شده در شرایط محیطی مختلف از نظر اسیدیته در طول زمان باشد. آزمایش تک محوری مطابق استاندارد ASTM D2166 و آزمایش باربری کالیفرنیا مطابق استاندارد ASTM D1883 انجام شده است. نمونه‌ها در درصد رطوبت بهینه تهیه شده و پس از دوره عمل‌آوری این آزمایش بر روی آنها انجام شده است.

همچنین ارزیابی رفتار و مشخصات حجمی خاک با اندازه‌گیری تورم در آزمایش باربری کالیفرنیا و همچنین تخمین ضریب تغییر حجم در آزمون تحکیم استفاده شده است (ASTM D4546). جهت اندازه‌گیری تورم سی‌بی‌آر نمونه طبق روش اشاره شده در استاندارد، میزان افزایش ارتفاع نمونه پس از غوطه‌ور شدن در آب در مدت زمان مشخص بعنوان درصد تورم سی‌بی‌آر گزارش می‌شود.

$$S_{Ratio} = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (1)$$

همچنین به منظور اندازه‌گیری ضریب تغییرحجم در آزمون تحکیم، نمونه ابتدا تحت فشار تحکیم قرار گرفته و سپس با باربرداری، تغییرات حجم اندازه‌گیری و ضریب تغییر حجم محاسبه می‌شود.

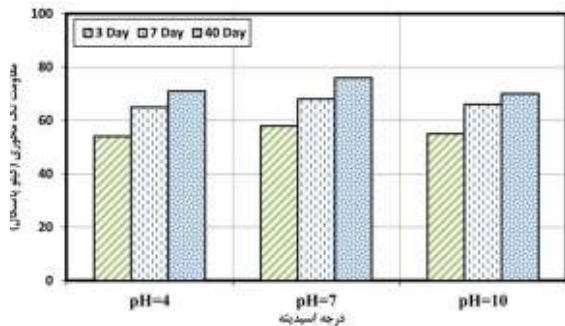
نمونه‌ها از قالب به منظور عمل آوری در محلول بافر فراهم نیست. لذا بصورت تجربی در جداره قالب پلاستیکی چند سوراخ ایجاد شد که امکان نفوذ رطوبت محلول بافر به آن فراهم شود. نمونه‌ها هر دو روز یکبار با اسپری کردن با محلول بافر در تماس قرار می‌گرفتند.

پلاستیکی سخت و ضخیم و برای مقاصد پُرفشار به قطر ۶ اینچ استفاده شد که متناسب با ابعاد قالب *CBR* برش داده شده و خاک در آن مطابق استاندارد آزمایش متراکم گردید. نظر به اینکه آزمایش باربری کالیفرنیا، روی نمونه خاک متراکم شده در قالب انجام می‌شود، لذا امکان خارج کردن

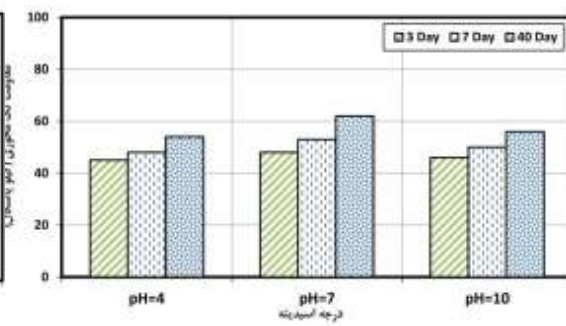
## ۵- بررسی و تحلیل نتایج آزمایش‌ها

نتایج حاصل از آزمایش‌های مکانیکی مقاومت تک محوری و نسبت باربری کالیفرنیا روی نمونه‌ها با دوره‌های عمل‌آوری مختلف در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. مقایسه این نتایج نشان می‌دهند که در محیط اسیدی مقاومت نمونه‌های با سیمان پس از ۳ روز عمل‌آوری بیشتر از مقاومت نمونه‌های متناظر بدون سیمان است که این نشان از تاثیر سیمان بر افزایش مقاومت نمونه‌های کوتاه مدت دارد، اما با گذشت زمان و در بلند مدت از مقاومت نمونه‌های با سیمان کاسته شده و نمونه‌های بدون سیمان مقاومت بیشتری دارند. این نتیجه به دلیل تاثیر رطوبت اسیدی بر فرآیند هیدراتاسیون قابل توجه می‌باشد. با توجه به نتایج شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان دریافت که خاک‌های اصلاح شده با سیمان در محیط خنثی در تمام مدت زمان عمل‌آوری مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های بدون سیمان دارند که این نشان از تاثیر مثبت محیط خنثی بر افزایش مقاومت نمونه‌های با سیمان دارد. همچنین این نتایج نشان می‌دهند که خاک اصلاح شده با سیمان در محیط قللیابی در کوتاه مدت مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های متناظر بدون سیمان از خود نشان می‌دهند اما با گذشت زمان و در بلندمدت نمونه‌های بدون

نتایج حاصل از آزمایش‌های مکانیکی مقاومت تک محوری و نسبت باربری کالیفرنیا روی نمونه‌ها با دوره‌های عمل‌آوری مختلف در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. مقایسه این نتایج نشان می‌دهند که در محیط اسیدی مقاومت نمونه‌های با سیمان پس از ۳ روز عمل‌آوری بیشتر از مقاومت نمونه‌های متناظر بدون سیمان است که این نشان از تاثیر سیمان بر افزایش مقاومت نمونه‌های کوتاه مدت دارد، اما با گذشت زمان و در بلند مدت از مقاومت نمونه‌های با سیمان کاسته شده و نمونه‌های بدون سیمان مقاومت بیشتری دارند. این نتیجه به دلیل تاثیر رطوبت اسیدی بر فرآیند هیدراتاسیون قابل توجه می‌باشد. با توجه به نتایج شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان دریافت که خاک‌های اصلاح شده با سیمان در محیط خنثی در تمام مدت زمان عمل‌آوری مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های بدون سیمان دارند که این نشان از تاثیر مثبت محیط خنثی بر افزایش مقاومت نمونه‌های با سیمان دارد. همچنین این نتایج نشان می‌دهند که خاک اصلاح شده با سیمان در محیط قللیابی در کوتاه مدت مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های متناظر بدون سیمان از خود نشان می‌دهند اما با گذشت زمان و در بلندمدت نمونه‌های بدون

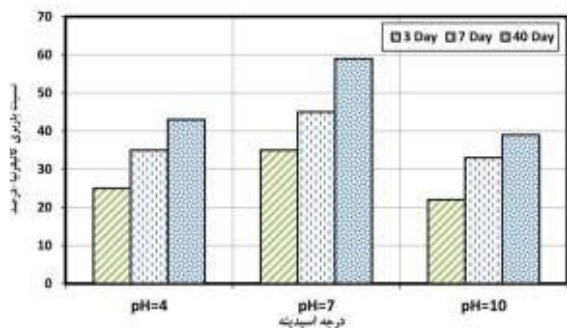


شکل ۳. مقاومت تک محوری نمونه‌های تثبیت‌شده با ۵ درصد سیمان بر حسب درجه اسیدیته

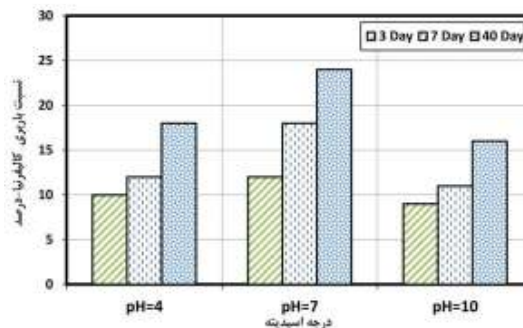


شکل ۲. مقاومت تک محوری نمونه‌ها تثبیت‌نشده بر حسب درجه اسیدیته

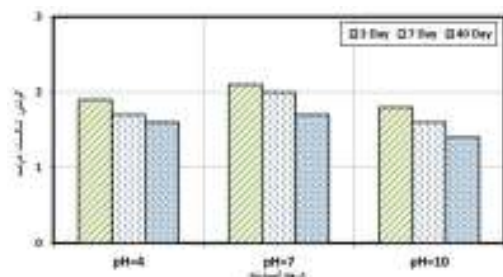




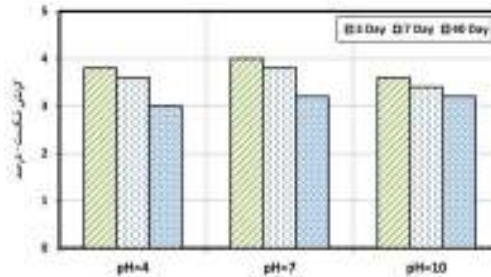
شکل ۵. نسبت باربری کالفرنیا نمونه‌های تثبیت شده با ۵ درصد سیمان بر حسب درجه اسیدیته



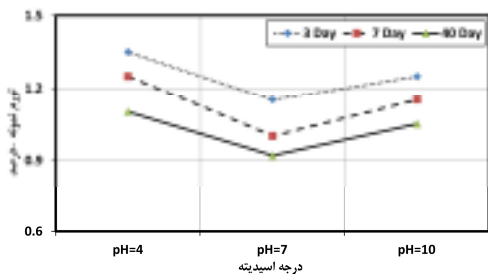
شکل ۴. نسبت باربری کالفرنیا نمونه‌ها تثبیت نشده بر حسب درجه اسیدیته



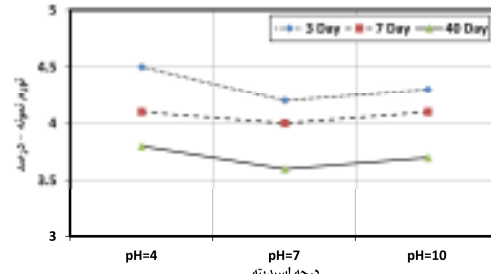
شکل ۷. کرنش شکست نمونه‌ها تثبیت شده با ۵ درصد سیمان در آزمایش تک محوری بر حسب درجه اسیدیته



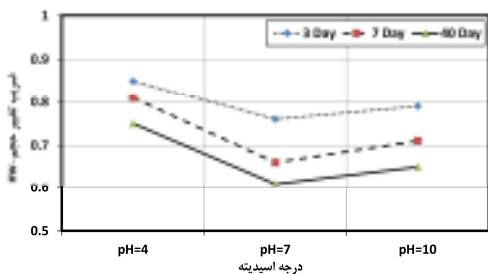
شکل ۶. کرنش شکست نمونه‌ها تثبیت نشده در آزمایش تک محوری بر حسب درجه اسیدیته



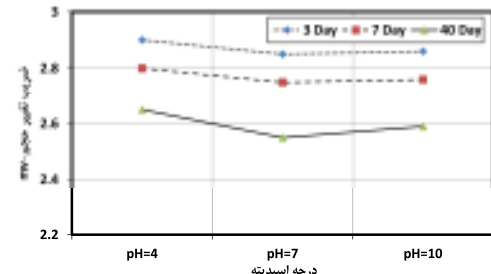
شکل ۹. تورم سی بی آر نمونه‌های تثبیت شده با ۵ درصد سیمان بر حسب درجه اسیدیته



شکل ۸. تورم سی بی آر نمونه‌های تثبیت نشده بر حسب درجه اسیدیته



شکل ۱۱. ضریب تغییر حجم نمونه‌های تثبیت شده با ۵ درصد سیمان بر حسب درجه اسیدیته



شکل ۱۰. ضریب تغییر حجم نمونه‌های تثبیت نشده بر حسب درجه اسیدیته

اصلاح نشده با سیمان، روند تغییر تورم تا روز هفتم عمل‌آوری کاهشی بوده اما میزان تغییرات در نمونه‌های تثبیت شده با سیمان بیشتر است که نشان دهنده تاثیر محسوس سیمان بر کاهش میزان تورم در محیط اسیدی

شکل‌های ۸ و ۹ بیانگر میزان تورم سی بی آر نمونه‌های اصلاح شده و اصلاح نشده با سیمان در شرایط مختلف محیط اسیدی و قلیایی را نشان می‌دهند. این نتایج به وضوح نشان می‌دهند که در محیط اسیدی در نمونه اصلاح شده و

مورد مطالعه قرار گرفته است. در حالیکه در پژوهش حاضر تاثیر  $pH$  محیط در حضور سیمان و مدت زمان عمل‌آوری بر مشخصات مکانیکی و حجمی خاک از طریق مقاومت تک محوری و نسبت باربری بررسی شده است. نتایج حاصل از این مقایسه بصورت خلاصه عبارت است از اینکه با افزایش مقدار سیمان توانایی خاک برای مقاومت در برابر فرسایش محیط آلوده در شرایط محیط اسیدی با مدت زمان عمل‌آوری طولانی، افزایش می‌یابد. که این نتیجه با نتایج این تحقیق متناظر بوده بطوریکه با تثبیت خاک توسط سیمان در محیط اسیدی یا قلیایی، با افزایش مقدار سیمان به بیش ۵ درصد، رفتار خاک بهبودی قابل توجهی نشان می‌دهد. همچنین یکی دیگر از نتایج مقایسه این دو تحقیق تاثیر محیط خنثی بر کامل شدن واکنش‌های شیمیایی سیمان و به دنبال آن به اوج رسیدن مقاومت و عملکرد خاک اصلاح شده با سیمان است در حالیکه محیط اسیدی و یا قلیایی بر شدت و سرعت واکنش‌های شیمیایی سیمان تاثیر گذاشته و باعث کاهش مقاومت خواهند شد.

#### ۷- بررسی نتایج آزمایش SEM

در این تحقیق به منظور ارزیابی دوره عمل‌آوری و بررسی تاثیر تثبیت شیمیایی سیمان نتایج تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نیز مورد مقایسه قرار گرفته است. این نتایج تاثیر شرایط محیطی را بر ساختار کریستالی رس تثبیت شده با سیمان نشان می‌دهد.

#### ۸- نتیجه‌گیری

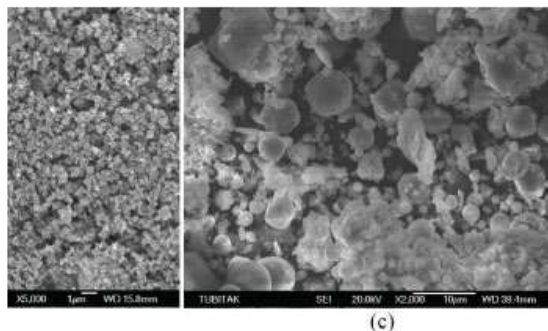
در این پژوهش تاثیر تثبیت شیمیایی سیمان بر خاک رس متورم شونده و در شرایط محیط اسیدی و قلیایی، مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفت. خلاصه نتایج حاصل از این تحقیق بصورت زیر قابل بیان است.

- تثبیت شیمیایی خاک رس متورم شونده با استفاده از حداقل ۵ درصد سیمان می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای مقاومت تک محوری و نسبت باربری کالیفرنیا را بهبود دهد و متناظر با این عملکرد کرنش شکست کاهش و شاخص تورم نیز کاهش می‌یابد. متناسب با افزایش مقاومت، رفتار نمونه ترد و شکننده‌تر می‌شود اما تورم خاک در مجاورت آب به دلیل عملکرد شیمیایی سیمان بر خاک رس کاهش می‌یابد.

است. اما در مدت زمان عمل‌آوری بیشتر بخصوص ۰٫۴روزه، میزان تورم نمونه‌های اصلاح شده با سیمان به شدت کاهش می‌یابد که نشان دهنده تاثیر سیمان در کاهش تورم خاکهای متورم شونده در شرایط مختلف محیط اسیدی و قلیایی است. در حالیکه تغییرات تورم خاک‌های اصلاح نشده با سیمان با گذشت زمان و در محیط اسیدی و قلیایی تاثیر قابل توجهی ندارد. همواره در محیط خنثی میزان تورم کمتر از محیط اسیدی و قلیایی است. این نتایج برای نمونه‌های اصلاح شده و اصلاح نشده با سیمان متناظر می‌باشند. این موضوع در مقایسه نتایج ضریب تغییر حجم در شکل ۱۰ و ۱۱ نیز بطور مشابه تکرار شده است. بطوریکه ضریب تغییر حجم در محیط خنثی کمتر از محیط قلیایی و اسیدی می‌باشد. در محیط اسیدی و قلیایی، همواره میزان تورم در مقایسه با محیط خنثی افزایش می‌یابد که نشان دهنده تاثیر محیط در انجام واکنش‌های شیمیایی تورم‌زا در خاک دارد. اما لازم است توجه شود که افزودن سیمان باعث کاهش قابل توجه تورم خاک شده است.

#### ۶- مقایسه موردی با نتایج دیگر محققان

به منظور صحت‌سنجی و ارزیابی نتایج این تحقیق، مقایسه موردی با پژوهش یانگ و همکارانش (Yu and Yang, 2013) صورت گرفت. در آن تحقیق تاثیر  $pH$  محیط با حضور سیمان و مدت زمان عمل‌آوری بر مشخصات مکانیکی خاک با استفاده از مقاومت تک محوری



شکل ۱۲. نتایج تصویر میکروسکوپ الکترونیکی روی نمونه‌های ۷ روزه، (a) تثبیت شده با سیمان در شرایط خنثی، (b) تثبیت شده با سیمان در شرایط اسیدی، (c) تثبیت شده با سیمان در شرایط قلیایی

## ۹- مراجع

-Ampera B. and Aydogmus T., (2005), "Recent experiences with cement and lime-stabilization of local typical poor cohesive soil" Geotechnical-Kolloquium Freiberg, Heft, 4(1), pp.121-144.

-ASTM, (2000), "Standard test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory Compacted Soils", ASTM D1883.

-ASTM, (2000), "Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soils", ASTM D2166.

-ASTM, (2000), "One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils" Designation: ASTM D4546.

-Bhattacharja S., Javed I., and Alan T., (2003), "Stabilization of clay soils by Portland cement or lime—a critical review of literature." PCA R&D Serial 2066-60.

-Dutta, J. and Mishra A., (2016), "Consolidation behavior of bentonites in the presence of salt solutions", Applied Clay Science, 3(7), pp.61–69.

-Estabrag A., Betolahpour I., Moradi M. and Javadi A., (2014), "Consolidation behavior of two fine-grained soils contaminated by glycerol and ethanol" Engineering Geology, 178, pp.102-108.

-Goswami, D. and Choudhury B.N., (2013), "Chemical Characteristics of leachate contaminated lateritic soil". International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2(4), pp.132-140.

-Gratchev L. and Ivan B., (2009), "Cyclic Behavior of Fine-Grained Soils at Different pH Values" Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, 21 (2), pp.16-29.

• بدون حضور و تاثیر سیمان بر نمونه، با گذشت زمان در مجاورت آب، مقاومت تک محوری و نسبت باربری کالیفرنیا خاک رس تغییر محسوس نخواهد داشت اما به میزان بسیار اندک سیمان‌توسیون خاک با گذشت زمان افزایش می‌یابد که متناسب با آن کرنش شکست نیز کاهش اما قابلیت تورم تغییر محسوس نخواهد داشت.

• بیشتر تاثیر و عملکرد تثبیت شیمیایی خاک با استفاده از سیمان در یک شرایط محیطی خنثی با  $pH=7$  می‌باشد بطوریکه در شرایط محیط قلیایی و اسیدی، مقاومت تک محوری و نسبت باربری کالیفرنیا کاهش می‌یابد. میزان و شدت کاهش متناسب با دوره عمل‌آوری است. اما گذر زمان به دلیل تاثیر شرایط محیطی بر روند انجام واکنشهای شیمیایی و هیدراتاسیون سیمان، محسوس می‌باشد.

• در شرایط محیطی خنثی، تاثیر سیمان بر کرنش شکست و قابلیت تورم خاک بسیار محسوس بوده بطوریکه با تکمیل واکنش‌های شیمیایی و هیدراتاسیون سیمان در طول دوره عمل‌آوری، قابلیت تورم کاهش یافته و رفتار نمونه ترد و کرنش شکست نیز کاهش می‌یابد. اما در شرایط محیطی قلیایی و اسیدی، واکنشهای شیمیایی تحت تاثیر قرار گرفته که باعث کاهش اثر سیمان بر قابلیت تورم خاک خواهد شد.

• بطورکلی شرایط محیط اسیدی در مقایسه با شرایط محیطی قلیایی، تاثیر کمتری بر واکنش‌های شیمیایی سیمان و به دنبال آن تاثیر کمتری بر تغییر مقاومت تک محوری و نسبت باربری کالیفرنیا دارد. همچنین کاهش قابلیت تورم در شرایط محیطی اسیدی محسوس‌تر از شرایط محیطی قلیایی می‌باشد.

• بطور کلی می‌توان گفت که با گذشت زمان و دوره عمل‌آوری، مقاومت تک محوری و نسبت باربری کالیفرنیا افزایش یافته و قابلیت تورم و کرنش شکست کاهش می‌یابد.

• شدت و میزان تاثیر شرایط محیطی بر رفتار مکانیکی و حجمی خاک تابع شرایط محیطی و زمان عمل‌آوری بخصوص دوره زمانی تکمیل هیدراتاسیون و کسب مقاومت سیمان یعنی سه روز اول (کسب حدود ۵۰ درصد مقاومت ۹۰ روزه)، هفت روز اول (کسب حدود ۶۵ درصد مقاومت ۹۰ روزه) و ۴۰ روز اول (کسب حدود ۹۰ درصد مقاومت ۹۰ روزه) می‌باشد.

- Pming, M., Hussain, M., Nyodu, M. and Shivan, D. (2016), "A Study on the Chemical Properties of Leachate its Effect on the Geotechnical Properties of Soil". IJETS. International Journal of Engineering Technology Science and Research. 3(7), pp.121-130.
- Reginald B. and Kogbar A. (2012), "pH-dependent leaching behavior and other performance properties of cement-treated mixed contaminated soil" Journal of Environmental Sciences, 4(2), pp.1630-1638.
- Sunil, B.M., Shrihari, S., Nayak, S. (2009), "Shear strength characteristics and chemical characteristics of Leachate contaminated lateritic soils". Journal Engineering Geology, 106, pp.20 - 25.
- Wang S., Wu X., Wang Y., Li Q. and Tao M. (2014), "Removal of organic matter and ammonia nitrogen from landfill leachate by ultrasound" Ultrasonics Sonochemistry, 15(1), pp.933-937.
- Yu Y. and Yang Y. (2013), "Effect of mechanical property of cemented soil under the different pH value" Journal of Applied Clay Science, 6(3), pp.19-24.
- Harun S., Rahman Z., Rahimi S., Lihan T. and Idris W., (2013), "Effect of leachate on Geotechnical Characteristics of Sandy Clay Soil", AIP Conference Proceedings 1571, pp.530-542.
- Hausmann, Manfred R., (2005), "Engineering principles of ground modification, McGraw-Hill.
- Indraratna B., Jian C. and John A., (2012), Ground Improvement: Case Histories. Oxford, UK: Elsevier.
- Lin, D., Lin, K., Hung, M. and Luo, H., (2007), "Sludge ash/hydrated lime on the geotechnical properties of soft soil" Journal of hazardous materials, 145(1), pp.58-64.
- Lo S., and Wardani S. (2002), "Strength and dilatancy of silt stabilized by a cement and fly ash mixture" Canadian Geotechnical Journal, 39 (1), pp.77-89.
- Munfakh, G. A. (1997), "Ground improvement engineering-the state of the US practice: part 1. Methods." Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement 1(4), pp.193-214.

# Effect of Environment Acidity on Mechanical and Volumetric Properties of Expansive Soil of Subgrade

*Saeed Ghaffarpour Jahromi, Associate Professor, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.*

*Ashkan Noori, M.Sc., Grad., Geotechnical Engineering, Pouyandegan Danesh Institute of Education, Chalus, Iran.*

*E-mail: Saeed\_ghf@sru.ac.ir*

Received: March 2020-Accepted: September 2020

## **ABSTRACT**

In this research, the effect of pH of the environment on the mechanical and volumetric properties of cement stabilized clay soils has been investigated through various tests in a laboratory scale. In this research, a problem-sensitive clay with chemical stabilization by cement in three short, medium and long term (3, 7 and 40 days) curing days under different pH conditions vary from acidic to alkaline with the pH of 4, 7 and 10 was tested in order to evaluate its mechanical and volumetric properties. Specifications for mechanical evaluation in this study included a test of density, single-axis bearing and California Bearing (CBR) test, which were used in different conditions in terms of the degree of acidity and curing days on specimens. The California Bearing Test (CBR) was also used to evaluate the volumetric properties. The results of this study show that soil improvement by cement increases mechanical strength and decreases the rate of soil swelling over time and curing days. However, the degree of acidity of the environment affects the chemical reactions of soil and cement, especially cement hydration, and causes changes in soil resistance and on the volume changes due to inflation. This effect depends on the pH and curing days.

**Keywords:** The Degree of Acidity, Mechanical Properties, Volumetric Properties, Expansive Clay, Cement Stabilization