جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دوره چهل و شش، شماره۱، تابستان ۱۳۹۳، صفحه ۹۷ تا ۱۰۶
Vol. 46, No. 1, Summer 2014, pp. 97-106

نشریه علمی– پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

تأثیر ترمیم کننده بتن ویژه روی پارامترهای مقاومت برشی خاک های رمبنده

ساحل سهرابی شکفتی[۱]، سید حبیب موسوی جهرمی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی آب ، دانشگاه شهید چمران اهواز

(دریافت۱۳۹۰/٤/۲۲، پذیرش۱۳۹۲/۲/۷)

چکیده

خاک رمبنده، با افزایش درصد رطوبت، تحت تنش ثابت، میزان کاهش حجم بسیار زیادی از خود نشان می‌دهد.این کاهش حجم برای سازه‌هایی که روی این خاکها قرار دارند یا در حال احداث می‌باشند اثرات جبران ناپذیری درپی دارد. بنابراین بررسی خصوصیات رفتاری این خاک‌ها و تثبیت آنها از اهمیت خاصی برخوردار می‌شود. هدف از این تحقیق تثبیت خاک‌های رمبنده و بالا بردن مقاومت برشی این خاک‌ها از طریق افزودن ترمیم کننده بتن ویژه با درصدهای اختلاط متفاوت می‌باشد. خاک مورد نظر از منطقه حمیدیه در نزدیکی شهر اهواز جمع آوری گردید و آزمایشات ژئوتکنیکی اولیه روی آن انجام شد. سپس پارامترهای مقاومت برشی این خاک با افزودن ترمیم کننده بتن ویژه با درصد اختلاط‌های متفاوت تعیین گردید. نتایج آزمایشات نشان داد که این ماده باعث بهبود پارامترهای مقاومت برشی گردیده و در درصد اختلاط ۱٪ بیشترین مقاومت برشی را داراست.

کلمات کلیدی

خاک رمبنده، آزمایش برش مستقیم، ترمیم کننده بتن ویژه.

* نویسنده مسئول وعهده دار مکاتبات Email: habib@musavi.info

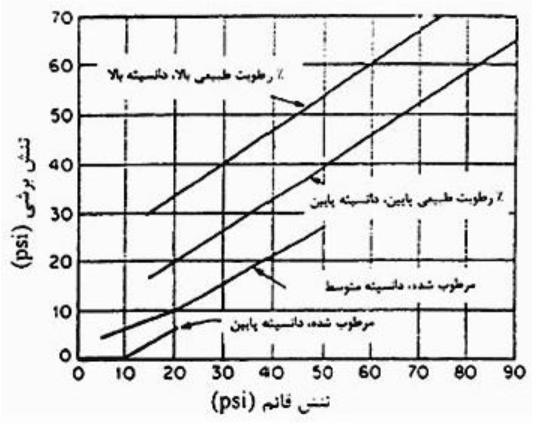
جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

۱- مقدمه

یکی از مهمترین مسائل ژئوتکنیکی که می‌تواند کاربری طرح را تحت تأثیر قرار داده و یا منجر به تخریب آن گردد، خاک‌های مسئله‌دار می‌باشد. خاک‌های مسئله‌دار به خاک‌های واگرا، متورم شونده، رمبنده، روانگرا و انحلال پذیر اطلاق می شود. در این مقاله به طور خاص خاک رمبنده مورد بررسی قرار گرفته است.

خاک‌های رمبنده در حالت طبیعی با درصد رطوبت اندک، دارای مقاومت ظاهری نسبتاً زیادی هستند ولی پس از جذب رطوبت و اشباع شدن، فضای خالی بین ذره‌ها کاهش یافته و خردشدگی در ساختار خاک به وجود می‌آید که منجر به نشست-های ناگهانی و نامتقارن در خاک می‌گردد. خاک‌های رمبنده عمدتاً خاک‌های لس و از نوع بادرفت هستند که دارای مقدار بسیار کمی سیلت و رس با تخلخل زیاد و وزن مخصوص کم می-باشند. این گونه خاک‌ها بیشتر در نواحی گرم و خشک و مناطق بیابانی یافت می‌شوند. البته این خاک‌ها تنها مختص به مناطق گرم و خشک نبوده و در دیگر مناطق نیز گسترده شده‌اند. کشور ایران در زمره کشورهایی قرار دارد که دارای خاک‌های رمبنده می‌باشد. براساس تحقیقات انجام شده توسط Clevenger (۱۹۵۹) مقاومت برشی لس‌ها در درصد رطوبت طبیعی قابل توجه می‌باشد. بطوریکه حتی در صورتیکه وزن حجمی آنها کم باشد، می‌توانند بصورت دیواره قائم به ارتفاع ۱۵ تا ۲۴ متر بدون تکیه گاه پایدار بمانند. در رطوبت پایین لس‌ها به علت قفل-شدگی ذرات خاک و سیمان‌شدگی، دارای پارامترهای مقاومت برشی بالایی هستند [۱۰]. چسبندگی ظاهری خاک رمبنده ممکن است به یک کیلوگرم بر سانتیمتر مربع هم برسد که در اثر مرطوب شدن مقدار آن به ۰/۷۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع کاهش می‌یابد [۱]. شکل (۱) تأثیر مرطوب شدگی خاک با دانسیته‌های مختلف را بر پارامترهای مقاومت برشی خاک نشان می‌دهد.

ضرورت بررسی خاک‌های رمبنده با توجه به گسترش نسبتاً وسیع این خاک‌ها در مناطق مختلف و لزوم طراحی سدها، کانال‌های آبیاری و سایر ابنیه‌های فنی در این مناطق و نیز با توجه به توسعه شهرنشینی و لزوم گسترش برخی شهرهای بزرگ و احداث مناطق مسکونی، لوله‌های آب و فاضلاب و... روی این خاک‌ها اهمیتی دو چندان می‌یابد [۱۳]. محققان مختلفی در مورد تثبیت و به‌سازی انواع خاک‌ها تحقیقاتی انجام دادند که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌گردد.



شکل (۱): تأثیر افزایش رطوبت روی C و φ [۹].

از جمله تحقیقات انجام شده در راستای کارائی تزریق بر بهبود خواص خاک‌های رمبنده می‌توان به کارهای Pengelly و همکاران (۱۹۹۷) در تزریق گل در خاک رمبنده، Lee و همکاران (۱۹۹۷) و Wang و همکاران (۱۹۹۸) در زمینه تأثیرات پارامترهای مختلف تزریق و نفوذپذیری بر خاک-های رمبنده اشاره نمود [۱۷]، [۱۸]، [۲۱]. محمد علیزاده رفیعی (۱۳۸۸) اثر تزریق آهک را روی خاک‌های رمبنده بررسی کرده و پس از انجام آزمایش مقاومت برشی سه محوری به این نتیجه رسید که تزریق آهک به خاک رمبنده مورد مطالعه ، چسبندگی را کاهش و زاویه اصطکاک داخلی را افزایش می دهد [۵]. Ashraf (۲۰۱۲) اثر روغن موتور با درصد اختلاط‌های ۴ و ۸ و ۱۲٪ را روی خاک رمبنده مورد بررسی قرار داد. وی نتیجه گرفت که این ماده پتانسیل رمبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، حدود اتربرگ، ماکزیمم وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه را کاهش داده ولی میزان چسبندگی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد [۸]. Alawaji (۲۰۰۱) آزمایشاتی را جهت تثبیت خاک رمبنده با استفاده از ماسه-ژئوگرید انجام داد. وی نتیجه گرفت که تثبیت با استفاده از این ترکیب، موجب ۹۵٪ کاهش در میزان نشست، ۲۰۰۰٪ افزایش در مدول الاستیسیته و ۳۲۰ ٪ افزایش ظرفیت باربری می‌شود [۷]. Huangjijng و Gasaluck (۲۰۱۰) آزمایشاتی را برای تثبیت لس‌ها با افزودن سیمان، خاکستر آتشفشانی و خاکستر پوسته برنج انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مخلوط سیمان-خاکستر به میزان ۱/۵٪ وزن لس، مقاومت فشاری را بسیار بالا می‌برد [۱۶]. اسکندری (۱۳۸۹) تأثیر ماده ترمیم کننده بتن ویژه را روی مقاومت برشی خاک‌های رسی مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که افزودن این ماده موجب کاهش چسبندگی و افزایش زاویه اصطکاک داخلی شده و در کل مقاومت برشی این خاکها را افزایش می‌دهد. بر اساس آزمایشات وی بیشترین افزایش در

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

مقاومت برشی در درصد اختلاط ۲٪ رخ می دهد[۳]. رحیمی (۱۳۹۰) اثر ماده ترمیم کننده بتن ویژه را روی مقاومت برشی خاکهای گچی مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که افزودن این ماده به خاکهای گچی،چسبندگی را به طور قابل ملاحظهای افزایش و زاویه اصطکاک داخلی را به میزان اندکی کاهش داده ولی در کل موجب افزایش مقاومت برشی خاک می-شود. بر اساس آزمایشات وی بیشترین افزایش در مقاومت برشی در درصد اختلاط ۱٪ مشاهده می شود [۴] .

با توجه به تحقیقات انجام شده در زمینه خاک‌های رمبنده مشخص می‌گردد که برای انجام هرگونه عملیات ساخت و ساز روی این خاک‌ها بایستی ساختمان آنها اصلاح گردد. از آنجا که به‌سازی ساختمان این خاک‌ها با مواد مختلف نتایج متفاوتی را در پی دارد، در این تحقیق تأثیر ماده ترمیم‌کننده بتن ویژه با درصد اختلاط‌های مختلف (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳ و ۵ درصد)، بر بهبود ساختمان خاک رمبنده تهیه شده از منطقه حمیدیه مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای مقاومت برشی برای این درصدهای اختلاط بدست آمده است. لازم به ذکر است که تاکنون از این ماده برای به‌سازی خاک‌های رمبنده استفاده نشده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- ترمیم کننده بتن ویژه Super Repair

ترمیم کننده بتن ویژه، ترکیبی پودری و بر پایه سیمان می‌باشد که به واسطه چسب بتن در ساختار خود علاوه بر قدرت چسبندگی بسیار زیاد به انواع سطوح و مصالح، موجبات آب بندی مقطع مورد کاربرد را نیز فراهم می‌آورد و با استانداردهای ذیل مطابقت دارد:

BS EN ASTM C928-05 , ASTM C1583-04,
,BS EN 12636 1298,

این ماده انقباض‌ناپذیر و هم رنگ بتن بوده و قابلیت ارائه در رنگ‌های مختلف را داراست و ضمن سهولت اجراء دارای خواص و اثراتی از جمله چسبندگی فوق العاده بالا به انواع مصالح نظیر، بتن، گچ، آجر و... ، مقاومت در مقابل سیکل‌های یخبندان و ذوب، آب بندی و نفوذ ناپذیرسازی سطوح می‌باشد. این ماده می‌تواند در تماس مستقیم با آب قرار گیرد و در موارد دیگری از جمله، ترمیم ترک خوردگی‌ها و شکستگی‌ها، هموار نمودن سطوح، پرنمودن حفره‌ها و ناهمواری‌های بتن، زیرسازی کف و دیوارها قبل از نصب پوشش جدید، ماهیچه کشی در سازه‌های آبی و پر نمودن میان بولت‌ها کاربرد دارد. شکل (۲) نمایی از این ماده را نشان می‌دهد.

شکل (۲): نمایی از ماده ترمیم کننده بتن ویژه

۲-۲- مشخصات خاک مورد مطالعه

در این تحقیق از یک نمونه خاک رمبنده استفاده گردید که از منطقه حمیدیه در نزدیکی شهرستان اهواز جمع آوری گردیده است.

۲-۳- روش اندازه گیری پتانسیل رمبندگی خاک‌ها

معیارهای گوناگونی برای شناسایی خاک‌های فروریزشی ارائه شده است که از مهمترین آنها می‌توان به معیارهای Abelev (۱۹۴۸) ، Gibbs و Bara (۱۹۶۲)، Handy (۱۹۷۳)، Denisov (۱۹۶۴) و معیار ASTM D5333-03 اشاره نمود [۶]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۲]. در این تحقیق جهت تعیین میزان رمبندگی از معیار استاندارد ASTM D5333-03 استفاده شده است. نحوه این آزمایش بدین صورت است که یک نمونه خاک با رطوبت طبیعی به گونه‌ای تراشیده و آماده می‌گردد که متناسب با حلقه آزمایش تحکیم در استاندارد ASTM D2435 گردد. سپس بارهای قائم به صورت پیش‌رونده اعمال می‌شوند تا به فشار ۲۰۰ کیلوپاسکال برسند. در انتهای این بارگذاری نمونه با مایع (معمولا آب مقطر) غرقاب می‌شود و به مدت یک روز به همان صورت نگه داشته می‌شود. در این مدت تغییر شکل‌های نمونه دنبال می‌شود و سپس آزمایش تحکیم تا رسیدن به بارگذاری حداکثر ادامه می‌یابد. قابلیت فروریزشی I_c با رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$I_c = \frac{\Delta e}{1+e_0}100 \qquad (۱)$$

که در این رابطه Δe تغییر در منافذ ناشی از مرطوب سازی و e_0 نسبت منافذ اولیه است. از آنجاییکه آزمایش به صورت یک بعدی انجام می‌گیرد رابطه (۱) را به شکل زیر نیز می‌توان نوشت:

$$I_c = \frac{\Delta h}{1+h_0}100 \qquad (۲)$$

که در رابطهٔ (۲) Δh تغییر در ارتفاع نمونه ناشی از مرطوب‌سازی و h_0 ارتفاع اولیه نمونه است. پتانسیل رمبندگی I_c برای تخمین نشست لایه خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار I_c از

معادله‌های بالا براساس تنش قائم اعمال شده به نمونه و مایعی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعیین می‌شود. پتانسیل رمبندگی که در تنش قائم ۲۰۰ کیلوپاسکال اندازه‌گیری می‌شود، شاخص رمبندگی نامیده می‌شود. پس از تعیین پتانسیل رمبندگی با توجه به جدول (۱) رده‌بندی شاخص رمبندگی انجام گرفته و درجه رمبندگی تعیین می‌گردد.

جدول (۱): جدول رده بندی شاخص رمبندگی

شاخص رمبندگی	درجه رمبندگی
۰-۰/۱	غیر رمبنده
۰/۱-۲	کم
۲-۶	متوسط
۶-۱۰	نسبتاً شدید
۱۰<	شدید

۲-۴- آزمایش برش مستقیم

در این تحقیق جهت انجام آزمایش برش مستقیم از قالبی با شکل مکعب مستطیل و با ابعاد ۲۰×۶۰×۶۰ میلیمتر که از دو قسمت مجزا تشکیل شده است استفاده شده است. سرعت اعمال نیرو در این تحقیق ۰/۵ میلیمتر بر دقیقه تنظیم گردیده و این آزمایشات در وزن مخصوص خشک حداکثر و رطوبت بهینه انجام گرفته است. آزمایش برشی می‌تواند با کنترل تنش و یا کنترل تغییر شکل باشد که در این تحقیق از آزمایش برش مستقیم با کنترل تنش استفاده شده و نمونه‌ها تحت تنش‌های قائم ۵۴/۵، ۱۰۹ و ۲۱۸ کیلوپاسکال قرار گرفته‌اند.

۲-۵- دستگاه مسترسایزر

این دستگاه پیشرفته‌ترین دستگاه دانه‌بندی ذرات به روش لیزری می‌باشد که قادر است در فاصله زمانی بسیار کوتاه و با حجم نمونه بسیار کمی دانه‌بندی ذرات خاک، پودرسنگ، پودر شیمیائی، فلزی و ... را بصورت خشک و تر و با دقت بالا اندازه‌گیری نماید. این دستگاه مجهز به دستگاه پردازش داده‌ها بوده که قادر است پس از دانه‌بندی توسط کامپیوتر و نرم‌افزار مربوطه منحنی دانه بندی خاک را تهیه نماید.

۳- نتایج و بحث

نظر به اینکه انجام آزمایشات مقاومتی نیاز به تجهیزات پیشرفته‌ای دارد، انجام این آزمایشات به صورت دقیق در محل اجرای پروژه تقریباً غیر ممکن بوده و باید در محیط آزمایشگاه انجام شود. پس از نمونه‌برداری از خاک منطقه حمیدیه، این نمونه‌ها به آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه شهید چمران اهواز جهت انجام تحقیقات بعدی منتقل گردید. در این مرحله کلوخه‌های خاک مورد نظر کوبیده شد تا آماده انجام آزمایشات بعدی گردد. ابتدا آزمایشات تعیین حدود اتربرگ، برش مستقیم و تعیین شاخص رمبندگی جهت تعیین برخی از خصوصیات فیزیکی و ژئوتکنیکی این خاک انجام گرفت. در مرحله بعد این خاک با ماده افزودنی ترمیم‌کننده بتن ویژه با درصد اختلاط‌های مختلف (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳ و۵ درصد)، ترکیب گشته و ۲۴ ساعت جهت اختلاط بهتر با ماده افزودنی در ظرفی دربسته به حال خود رها گشته، سپس مجدداً آزمایشات ذکر شده روی این نمونه‌ها انجام گرفت. با توجه به اینکه کلوخه‌های موجود درخاک مورد مطالعه کوبیده شده است، شرایط دست خوردگی در نمونه‌ها قبل و بعد از اختلاط ثابت بوده و نتایج حاصله با در نظر گرفتن دست خوردگی قبل و بعد اختلاط حاصل شده است. در ادامه به بررسی آزمایشات انجام شده و نتایج آن قبل و بعد از ترکیب با ماده افزودنی ترمیم‌کننده بتن ویژه پرداخته شده است.

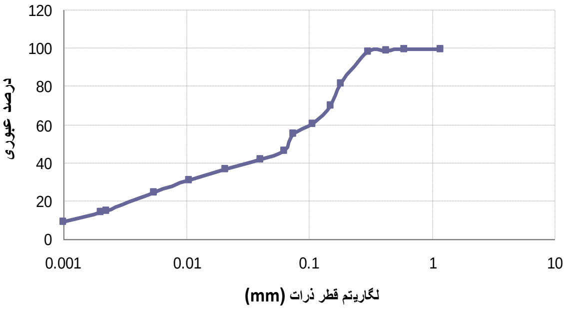
۳-۱- نتایج آزمایشات قبل از ترکیب

در این مرحله روی نمونه خاک تهیه شده از منطقه حمیدیه بدون ترکیب با هیچ ماده‌ای آزمایشات مختلفی انجام گرفت که در ادامه این آزمایشات و نحوه‌ی انجام آنها ذکر می‌گردد:

۱- نتایج حاصل از دانه بندی

پس از انجام آزمایش آبشویی از الک ۲۰۰، آزمایش دانه بندی خاک برای بخش درشت دانه که بخش مانده روی الک شماره ۲۰۰ می‌باشد به روش دانه بندی با الک و برای قسمت ریزدانه تعیین شده یعنی بخشی از خاک که از الک شماره ۲۰۰ عبور کرده است، با استفاده از دستگاه مسترسایزر صورت گرفت. نتیجه این آزمایشات در نمودار (۱) ارائه گردیده است.

با توجه به این نمودار و بر اساس آزمایشات انجام گرفته مشخص گردید که ۵۵ درصد ذرات خاک از الک شماره ۲۰۰ عبور کرده‌اند (بیش از ۵۰ درصد)، که از این میزان ۱۴درصد ذرات قطری کمتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر داشته و متعلق به ذرات رس می‌باشد، همچنین نشانه خمیری این خاک ۵/۸۲ (کمتر از ۵۰) می‌باشد. در نتیجه این خاک در سیستم رده‌بندی متحد، در گروه CL-ML قرار می‌گیرد.



نمودار(۱): منحنی دانه بندی خاک

۲- آزمایش تعیین چگالی نسبی

این آزمایش با توجه به استاندارد ASTM D854 برای خاک مورد مطالعه انجام گرفته و چگالی نسبی خاک مورد مطالعه ۲/۷۳ بدست آمد.

۳- آزمایش حدود اتربرگ

آزمایش حد روانی و حد خمیری و حد انقباض با توجه به معیار ASTM D 4318 انجام گرفت که نتایج آن برای خاک مورد مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): حدود اتربرگ خاک مورد مطالعه

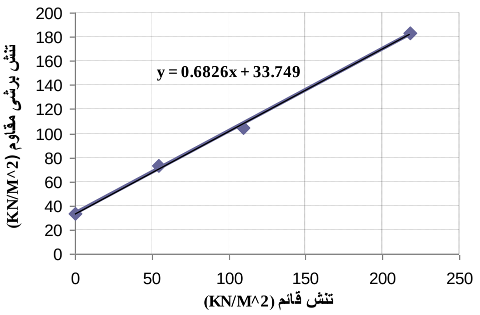
شاخص خمیری	حد خمیری	حد روانی
۵/۸۲	۱۸/۳	۲۴/۱۲

۴- آزمایش نفوذپذیری

آزمایش نفوذپذیری طبق استاندارد ASTM D 2434 انجام شد و نفوذپذیری خاک مورد مطالعه ۰/۰۲ cm/ hr بدست آمد.

۵- آزمایش برش مستقیم

جهت تعیین مقدار چسبندگی ظاهری و زاویه اصطکاک داخلی آزمایش برش مستقیم مطابق با روش توضیح داده شده در قسمت مواد و روش‌ها روی خاک مورد مطالعه انجام گرفت، که نتایج این آزمایش در نمودار (۲) ارائه گردیده است.

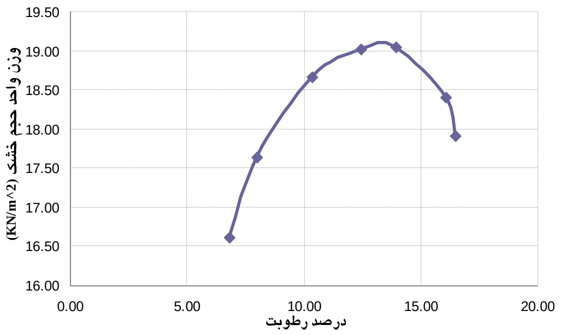


نمودار(۲): نتایج آزمایش برش مستقیم

براساس نمودار (۲)، مقدار چسبندگی ظاهری ۳۳/۷۵ کیلونیوتن بر متر مربع و مقدار زاویه اصطکاک داخلی ۳۴/۳۱ درجه بدست می‌آید.

۶- آزمایش تراکم

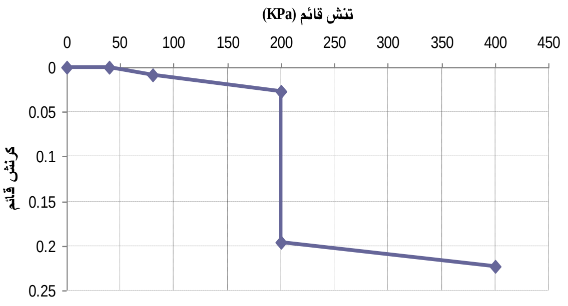
آزمایش پروکتور استاندارد برای تعیین رطوبت بهینه و حداکثر دانسیته خشک خاک با توجه به معیار ASTM D698 انجام گرفت و منحنی تراکم برای خاک مورد مطالعه مطابق با نمودار (۳) بدست آمد. همانطور که از این نمودار مشخص است، میزان درصد رطوبت بهینه ۱۳/۹۳ درصد و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک ۱۹/۰۶ کیلو نیوتن بر متر مکعب بدست می‌آید.



نمودار (۳): منحنی تراکم خاک مورد مطالعه

۷- آزمایش تعیین شاخص رمبندگی

آزمایش تعیین شاخص رمبندگی با توجه به معیار ASTM D5333 انجام شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که شاخص رمبندگی برای خاک مورد نظر ۱۷/۵٪ می‌باشد که با توجه به جدول (۱) در طبقه خاک‌های شدیداً رمبنده قرار می‌گیرد. نمودار (۴) نمودار فشردگی آزمایش پتانسیل رمبندگی خاک مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



نمودار (۴): نمودار فشردگی آزمایش پتانسیل رمبندگی خاک مورد مطالعه

۳-۲- نتایج آزمایشات بعد از ترکیب

در مرحله بعد ماده افزودنی ترمیم‌کننده بتن ویژه در ۶ حالت مختلف از درصدهای اختلاط (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی)، با خاک مورد مطالعه ترکیب شده و آزمایشات تعیین حدود اتربرگ، تراکم و برش مستقیم روی آنها انجام گرفت که نتایج حاصل در ادامه ارائه شده است.

۱- آزمایش حدود اتربرگ

آزمایش حدود اتربرگ روی خاک مورد مطالعه با ۶ درصد اختلاط متفاوت ذکر شده از ماده‌ٔ ترمیم کننده بتن ویژه انجام گرفت. نتایج نشان داد که برای تمامی درصدهای اختلاط حد روانی و حد خمیری افزایش یافته ولی میزان افزایش حد روانی نسبت به حد خمیری بیشتر است. همچنین بر اساس این آزمایش مشخص گردید که میزان شاخص خمیری برای درصدهای اختلاط ۰/۵٪ و ۱٪، نسبت به خاک شاهد کمتر می‌باشد ولی مقدار آن با افزایش درصد اختلاط افزایش می‌یابد. نتایج این آزمایشات در جدول (۴) ارائه گردیده است. همانطور که از این جدول ملاحظه می‌شود شاخص خمیری در درصد اختلاط ۵٪ بیشترین مقدار را داراست که نسبت به خاک شاهد ۱۶۲ درصد افزایش یافته است. در این درصد اختلاط حد روانی نسبت به خاک شاهد ۴۱/۹ درصد افزایش یافته است.

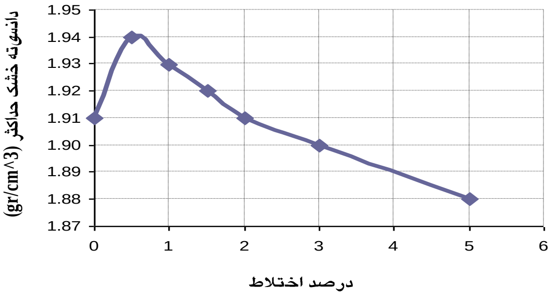
۲- آزمایش تراکم

به منظور تعیین میزان رطوبت بهینه و دانسیته خشک برای خاک مورد مطالعه آزمایش پروکتور استاندارد طبق ASTM D 698 به ازای درصدهای مختلف اختلاط ترمیم کننده بتن ویژه (۰/۵ ، ۱ ، ۱/۵ ، ۲ ، ۳ و ۵ درصد) انجام شد. نتایج بدست آمده در جدول (۳) ارائه گردیده است.

جدول (۳): نتایج آزمایش پروکتور استاندارد

میزان رطوبت بهینه (٪)	دانسیته خشک حداکثر (gr/cm)	میزان ترمیم کننده بتن ویژه (٪)
۱۳/۹۳	۱/۹۱	۰
۱۰/۸	۱/۹۴	۰/۵
۱۱/۰۴	۱/۹۳	۱
۱۱/۵	۱/۹۲	۱/۵
۱۱/۹۷	۱/۹۱	۲
۱۲/۸۹	۱/۹	۳
۱۳/۲	۱/۸۸	۵

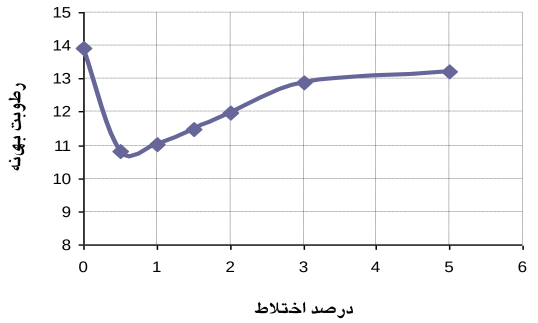
نتایج حاصل از این جدول نشان می‌دهد که این ماده تغییر محسوسی در دانسیته خشک حداکثر ایجاد نکرده است. مقدار رطوبت بهینه برای درصد اختلاط ۰/۵٪ نسبت به خاک شاهد کمتر شده ولی با افزایش درصد ماده افزودنی، این مقدار افزایش می‌یابد. نمودارهای (۵) و (۶) روند این تغییرات را نشان می‌دهند.



نمودار(۵) :تغییرات دانسیته خشک حداکثر با افزودن ترمیم کننده بتن ویژه

جدول (۴): نتایج آزمایش حدود اتربرگ برای درصد اختلاط‌های مختلف

درصد اختلاط	۰	٪۰/۵	٪۱	٪۱/۵	٪۲	٪۳	٪۵
حد روانی	۲۴/۱۲	۲۵/۱۳	۲۶/۵۸	۲۸/۴۶	۲۹/۸۴	۳۱/۲۷	۳۴/۲۵
حد خمیری	۱۸/۳	۲۰/۶۱	۲۱/۹	۲۱	۲۰	۱۹/۵	۱۹
شاخص خمیری	۵/۸۲	۴/۵۲	۴/۶۸	۷/۴۶	۹/۸۴	۱۱/۷۷	۱۵/۲۵



نمودار(۶): تغییرات درصد رطوبت بهینه با افزودن ماده ترمیم کننده بتن ویژه

۳- آزمایش برش مستقیم

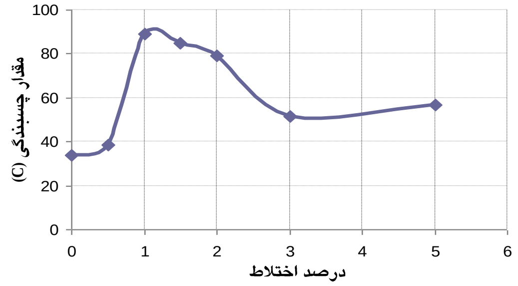
آزمایش برش مستقیم طبق روش شرح داده شده در قسمت مواد و روش‌ها روی نمونه خاک ترکیب شده با ۶ درصد مختلف اختلاط از ماده ترمیم کننده بتن ویژه انجام گرفت. این آزمایش برای کلیه درصدهای اختلاط در رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک حداکثر بدست آمده از آزمایش تراکم استاندارد انجام گرفت. نمونه‌ها بعد از اختلاط با ماده مورد نظر به مدت ۲۴ ساعت در درون یک ظرف سر بسته قرار گرفتند تا خاک بتواند زمان کافی برای ترکیب شدن با ماده ترمیم کننده بتن را داشته باشد. برای اطمینان از تبخیر نشدن رطوبت وزن نمونه‌ها در هنگام ساخت و همچنین بعد از گذشت ۲۴ ساعت، قبل از شروع آزمایش اندازه گیری شد و نمونه‌ها هیچ گونه کاهش وزن نداشتند. از ترسیم نمودار تنش برشی مقاوم در مقابل تنش قائم، پارامترهای مقاومت برشی (چسبندگی ظاهری و زاویه اصطکاک داخلی) حاصل می‌شوند. نتایج این آزمایشات در جدول (۵) ارائه گردیده است.

جدول(۵): نتایج آزمایش برش مستقیم

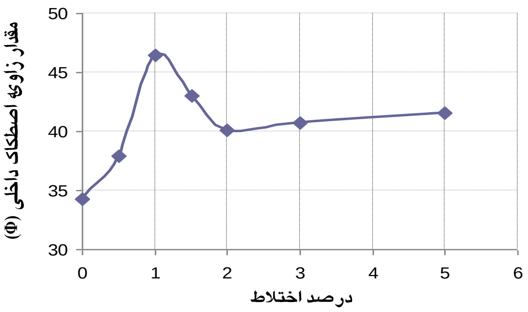
درصد اختلاط	C	φ
۰	۳۳/۷۵	۳۴/۳۱
۰/۵	۳۸/۶۲	۳۷/۹۱
۱	۸۸/۸۹	۴۶/۴۱
۱/۵	۸۵	۴۳
۲	۷۹/۳۱	۴۰/۱۴
۳	۵۱/۶۷	۴۰/۶۹
۵	۵۶/۸	۴۱/۵۷

نتایج بدست آمده از جدول (۵) نشان می‌دهد که ضریب چسبندگی با افزایش درصد اختلاط رشد داشته و در نسبت اختلاط ۱٪ به بیشترین مقدار خود می‌رسد که در این درصد اختلاط ۱۶۳/۴ درصد نسبت به خاک شاهد افزایش داشته است.

سپس با افزودن ماده ترمیم کننده بتن ویژه تا نسبت اختلاط ۳ درصد روند کاهشی می‌یابد ولی مجدداً به ازای نسبت اختلاط ۵ درصد افزایش می‌یابد. همچنین مقدار زاویه اصطکاک در اختلاط ۱٪ بیشترین مقدار خود را دارد که نسبت به خاک شاهد ۳۵/۲۶ درصد افزایش یافته است و بعد از آن تا درصد اختلاط ۳ درصد روند نزولی یافته ولی دوباره در درصد اختلاط ۵ درصد افزایش می‌یابد. این روند تغییرات در نمودارهای (۷) و (۸) به خوبی مشخص می‌باشد. همین‌طور که از این نمودارها و جدول (۵) مشاهده می‌شود بیشترین مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مربوط به نسبت اختلاط ۱٪ می‌باشد.

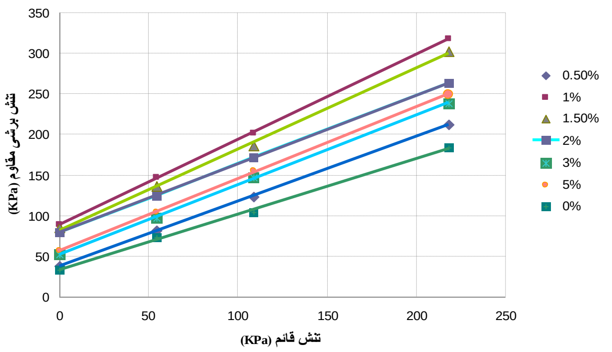


نمودار(۷): تغییرات میزان چسبندگی با افزودن ترمیم کننده بتن ویژه



نمودار(۸): تغییرات میزان زاویه اصطکاک داخلی با افزودن ترمیم کننده بتن ویژه

به منظور درک بهتر از نحوه تغییرات مقادیر پارامترهای مقاومت برشی (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) به ازای درصد اختلاط‌های مختلف، نمودار (۹) ترسیم شده است.



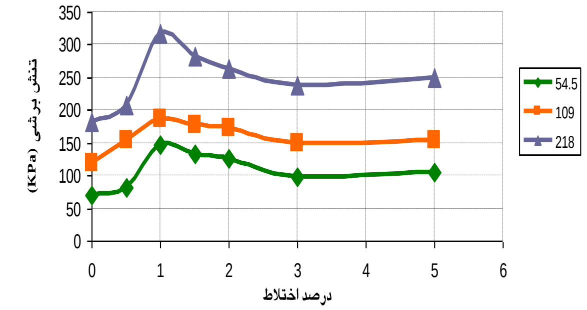
نمودار(۹): نمودار مقایسه‌ای پارامترهای مقاومت برشی درصدهای اختلاط متفاوت

همانطور که از این نمودار مشخص است تنش برشی خاک با افزودن مادهٔ ترمیم کننده بتن ویژه به ازای تمامی نسبت‌های اختلاط افزایش می‌یابد. نکته دیگری که از این نمودار برداشت می‌شود این است که بیشترین مقدار چسبندگی (عرض از مبدا) و زاویه اصطکاک داخلی (مقدار زاویه) به ازای درصد اختلاط ٪۱ بدست می‌آید.

بر اساس نظریه کولمب (۱۷۷۶) مقاومت برشی تابع تنش عمودی است [۱۱]، [۱].

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \qquad (۳)$$

با توجه به رابطه (۳)، مقادیر تنش برشی برای درصد اختلاط‌های متفاوت و تحت سربارهای مختلف محاسبه شده و نتایج آن در نمودار (۱۰) ارائه شده است. همانطور که از این نمودار نیز مشخص است بیشترین تنش برشی مربوط به درصد اختلاط ۱ درصد می‌باشد بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از نمودارهای (۹) و(۱۰) می‌توان نتیجه گرفت در این درصد اختلاط خاک بیشترین مقاومت برشی را داراست.



نمودار (۱۰) : نمودار مقایسه ای تغییرات تنش برشی با افزودن ترمیم کننده بتن ویژه تحت سربارهای مختلف

افزودن مواد شیمیایی به خاک موجب شروع چندین واکنش می‌گردد که از آن جمله می‌توان به واکنش تبادل یون‌های مثبت، واکنش تجمع- تراکم، واکنش هیدراسیون و واکنش پوزولانی اشاره نمود. در رابطه (۴) که به سری لیوتروپی موسوم است ترتیب کلی تبادل یون هایی که معمولاً در خاک یافت می شوند، نشان داده شده است [۲].

$$Na^{+} < K^{+} < Mg^{2+} < Ca^{2+} < Al^{3+} < Fe^{3+} \qquad (۴)$$

در واکنش تبادل یون‌های مثبت هر یک از یون‌ها تمایل به جایگزینی یون‌هایی که در سمت چپ آن قرار دارند داشته و به این ترتیب یون‌های یک ظرفیتی با یون‌های چند ظرفیتی جایگزین می‌شوند. در واکنش تجمع-تراکم دانه‌های رس مجتمع شده و به صورت دانه‌های بزرگتری در می‌آیند و به صورت آشکارا سبب تغییر بافت خاک می‌شوند. به وجود آمدن مواد سمنتی آلومینات کلسیم هیدراته تأثیر زیادی در شروع واکنش تجمع-تراکم دارد. به واکنش گرمازا که در آن اجزای آهک زنده و سیمان با آب ترکیب می‌شوند، هیدراسیون گفته می‌شود که در آن اجزای جامد تشکیل دهنده سیمان با آب واکنش داده و سیلیکات کلسیم هیدراته و آلومینات‌های کلسیم هیدراته و آهک هیدراته را به وجود می‌آورند. این واکنش در مدت زمان کوتاهی صورت گرفته و باعث کاهش درصد رطوبت مخلوط می‌شود. واکنش‌های بین آهک، آب، مواد سیلیس‌دار و آلومین‌دار که موجب تشکیل انواع مختلفی از ژل‌های چسباننده می‌شود، به عنوان واکنش‌های پوزولانی شناخته می‌شوند. واکنش پوزولانی سبب به وجود آمدن مواد سمنتی می‌شود که باعث افزایش مقاومت و دوام خاک می‌گردد [۱۹].

ذرات رس با داشتن بار الکتریکی منفی مانند آنیون عمل می‌کند که در اطراف آن مقدار زیادی کاتیون وجود دارد. سطح ذره رس و مجموعه کاتیون‌های معلق در اطراف آن تشکیل یک لایه دوگانه الکترواستاتیک را می‌دهند. هرچه از سطح ذرات رس دورتر شویم جاذبه آنیون ها و کاتیون‌ها کمتر می‌شود و رفته رفته از غلظت کاتیون‌ها کاسته می‌شود. نوع کاتیون‌ها و مقدار آنها روی ضخامت این لایه اثر می‌گذارد. هرچه کاتیون دارای بار بیشتر باشد باعث کمتر شدن ضخامت لایه می‌شود. مثلاً به ازای یک کلسیم دو بار منفی رس و به ازای سدیم، یک بار منفی رس کم می‌شود. بنابراین سدیم بیشتری نسبت به کلسیم مورد نیاز است، هرچه سدیم بیشتر شود ضخامت لایه دوگانه بیشتر می‌شود و باعث واگرایی (پراکندگی) خاک می‌گردد. بر اساس آزمایشات انجام شده در آزمایشگاه شیمی خاک دانشکده مهندسی آب دانشگاه شهید چمران مشخص گردید که اضافه کردن ماده ترمیم کننده بتن ویژه به خاک رمبنده مورد آزمایش، موجب کاهش سدیم و افزایش کلسیم می‌گردد. که نتایج این آزمایش در جدول (۶) ارائه گردیده است.

جدول(۶): نتایج آزمایش شیمی خاک

درصد اختلاط	Na(mg/lit)	Ca(mg/lit)
۰	۸۹	۱۶/۶
۰/۵	۷۷	۱۸/۷
۱	۷۳	۱۹/۹
۱/۵	۷۵	۱۹/۵
۲	۷۴/۸	۱۹/۵۳
۳	۷۵	۱۹/۴
۵	۷۴/۳	۱۹/۶۳

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش شیمی خاک میزان سدیم در درصد اختلاط ۱٪ از درصدهای دیگر و همچنین از خاک شاهد کمتر بوده و همچنین میزان کلسیم در این درصد بیشتر از درصدهای دیگر است و می‌توان گفت احتمالا یکی از دلایل بالاتر بودن مقاومت برشی در درصد اختلاط ۱٪ جایگزینی کلسیم به جای سدیم می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

این تحقیق به منظور تثبیت خاک رمبنده و بررسی تأثیر ماده ترمیم کننده بتن ویژه در بالا بردن مقاومت برشی این نوع خاک انجام گرفته است. بدین منظور از نمونه خاک رمبنده منطقه حمیدیه استفاده شد و آزمایشات مختلفی روی آن انجام گرفت. مهمترین نتایج حاصله از این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱- ماده ترمیم کننده بتن ویژه تأثیر بسزایی در بالا بردن پارامترهای مقاومت برشی دارد. این مسئله نشان دهنده کاربردی بودن این ماده در تثبیت و مقاوم‌سازی خاک‌های رمبنده است.

۲- در نسبت اختلاط ۱٪، مقدار چسبندگی ظاهری و زاویه اصطکاک داخلی نسبت به درصد اختلاط‌های دیگر از مقدار بالاتری برخوردار بوده که این خود موجب می‌شود خاک در این درصد اختلاط از مقاومت برشی بالاتری نسبت به درصد اختلاط-های دیگر برخوردار گردد.

۳- در نسبت اختلاط ۱٪ مقدار چسبندگی ظاهری نسبت به خاک شاهد ۱۶۳/۴ درصد و مقدار زاویهٔ اصطکاک داخلی نسبت به خاک شاهد ۳۵/۲۶ درصد افزایش داشته است که این امر احتمالاً به دلیل جایگزینی یون Ca^{2+} به جای یون Na^{+} ناشی از اختلاط خاک با ماده ترمیم کننده بتن ویژه می‌باشد.

۴- نتایج بدست آمده از آزمایش حدود اتربرگ نشان داد که در درصد اختلاط ۰/۵٪ شاخص خمیری ۱۶۲٪ نسبت به خاک شاهد افزایش داشته است.

۵- می‌توان تأثیر مواد مختلف را در بهبود و مقاوم سازی خاک-های رمبنده بررسی کرد و بهترین گزینه را از نظر اقتصادی و کارایی بررسی نمود.

۶- با توجه به آزمایشات انجام شده در این تحقیق (تأثیر ترمیم کننده بتن ویژه روی خاکهای رمبنده) وتحقیقات اسکندری (تأثیر ترمیم کننده بتن ویژه روی خاکهای رسی) و رحیمی (تأثیر ترمیم کننده بتن ویژه روی خاکهای گچی) می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً ماده ترمیم کننده بتن ویژه مقاومت برشی اکثر خاکها را افزایش می‌دهد.

۵- منابع

[۱] براجا، ام داس؛" اصول مهندسی ژئوتکنیک (جلد اول: مکانیک خاک)"، ترجمه شاپور طاحونی، ۱۳۸۶.

[۲] طباطبایی، امیر محمد؛ "روسازی راه"، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۹.

[۳] اسکندری، امین؛" بررسی تاثیر ماده ترمیم کننده بتن ویژه بر پارامترهای مقاومت برشی و خصوصیات فیزیکی خاک‌های چسبنده"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم تحقیقات، خوزستان، ۱۳۸۹.

[۴] رحیمی، طاهره؛" اثر مواد پلیمری بر روی خاک های گچی بکار رفته در دایک ها و سواحل رودخانه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ۱۳۹۰.

[۵] محمد علیزاده رفیعی، بابک؛" پایدارسازی خاک رمبنده با استفاده از تکنولوژی تزریق- مطالعه موردی راه آهن سمنان-دامغان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین، ۱۳۸۸.

[۶] Abelev. Y. M. ,“The essentials of designing and building on microporous soils”, Stroitel'naya Promyshelmast, No.10,1948.

[۷] Alawaji, H. A. ,“Settlement and bearing capacity ofgeogrid-reinforced sand over collapsible soil”, ELSEVIER, pp. 75-88, 2001

[۸] Ashraf, K. N. ,“Stabilization of Collapsible Soil with Engine Oil”, J. International Review of Civil Engineering, Vol. 3, Issue 6, 487, 2012.

[۹] Bell, F. G. ,“Engineering Properties of SoiL and Rocks(3rd Edn.)”, Oxford, U. K, Butter worth-Heinemann, pp. 345, 2002.

[۱۰] Clevenger, W. A. ,“Experiences with loess as a foundation material”, Transactions merican Society for Civil Engineers, 123, pp. 51-80, 1959.

[۱۱] Coulomb,C.A. ,"Essai Surune Application des regles des Maximis et Minimis a Quieques Problems des Statique Relatifs a L'Architecture", Mem, Acad. Roy. Pres. Divers Savants, Paris, vol. 7, 1776.

[۱۲] Denisov, N.Y. ,"About the the nature of high sensitivity of Quick clays", Osnov. Fudam. Mekh. Grunt, 5, pp. 5-8, 1964.

[۱۳] Derbyshirc, E. ,"Geological hazards in loess terrains with particular reference to the loes regions of China", Earth-Science, Reviews.54, pp. 31-60, 2001.

[۱۴] Gibbs, H. J.; Bara, J. P. ,"Predicting surface subsidence from basic soil test", A.S.T.M, Spec, Tech, Pub., 322, pp. 231-246, 1962.

[۱۵] Handy, R. L. ,"Collapsible loess in Iowa", Soil Sei, Amer, Proc,37, pp. 281-284, 1973.

[۱۶] Huangjing ,S.; Gasaluck,w. ,"The Stabilization of Loess by Chemical Additives for Road Base", EJGE, VOL. 15, pp.1651-1668, 2010.

[۱۷] Lee, Y.; Chew, S.H.; Lee, F.H.; Yong, K.Y.; Yoga rajah, I. ,"Strength of jet-grouted Singapore marine clay". In Proceedings of the International Conference on Ground Improvement Techniques, Singapore, pp. 297–304, 1997.

[۱۸] Pengelly, A. ,"Boehm, D.; Rector, E. ; Welsh, J.; Engineering Experience with in Situ Modication of Collapsible and Expansive Soils", Unsaturated Soil Engineering, ASCE, Special Geotechnical Publication, 1997.

[۱۹] Petry, T. M.; Das, B. ,"Evaluation Of Chemical Modifiers/Stabilizers For Chemically Active Soils clays", Transportation Research Record, No. 1757, National Research Council, Washington, 2001.

[۲۰] Sohby, M. A. El. ," Influence of soil constituents on collapsible soils",. 9th Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering/Lagos, 1987.

[۲۱] Wang, J.G.; Oh, B.; Lim, S.W.; Kumar, G. S. ,"Studies on soil disturbance caused by grouting in treating marine clay", In Proceedings of the 2nd International Conference on Ground Improvement Techniques, Singapore, 8–9 Oct. 1998, pp. 521–528,1998.