فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷
صفحات ۳۹-۴۶
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

بررسی تأثیر سیمان بر مقاومت فشاری خاک‌های ماسه‌ای مخلوط استان همدان

علیرضا صفری‌مجد۱، محمد حسین نوروزی۲*

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا،
safarimajd@gmail.com
۲دانشجوی کارشناسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان،
hoseinnorozi19@yahoo.com

چکیده

بهبود خواص خاک‌ها به‌ویژه افزایش ظرفیت باربری و صدمات زیست محیطی ناشی از برداشت بی‌رویه مصالح طبیعی در طول دهه‌های گذشته متولیان راهسازی را بر آن داشته است تا با استفاده از مواد افزودنی مختلف ضمن بهبود پارامترهای خاک از حجم مصرفی این مصالح نیز بکاهد. تاکنون مواد افزودنی گوناگون جهت تثبیت خاک و یا مصالح دانه‌ای ضعیف به‌کار رفته‌اند که از جمله می‌توان دانه‌بندی، شاخص خمیری، وجود ماده تثبیت‌کننده، توجیه اقتصادی، وجود تجهیزات ساخت و آب‌وهوای محل را نام برد. تحقیق حاضر تأثیر افزودن سیمان بر بهبود پارامترهای مقاومت فشاری محدود نشده انواعی از خاک‌های ماسه‌ای مخلوط استان همدان در دوره‌های عمل‌آوری متفاوت، مطالعه و مورد بحث قرار می‌گیرد. بدین منظور با استفاده از دستگاه تک‌محوری، ظرفیت باربری خاک‌های مخلوط همدان با درصد سیمان ۰، ۰/۵، ۱، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۴ بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد سیمان میزان افزایش مقاومت روند صعودی دارد و در یک درصد سیمان مشخص، این روند با شیب زیادی افزایش می‌یابد و به‌عنوان درصد سیمان بهینه گزارش می‌شود و با افزایش درصد سیمان مجدد، روند افزایش مقاومت با شیب بسیار کمی رشد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تثبیت سیمان، دستگاه تک محوری، مقاومت فشاری

۱- مقدمه

پارامترهای مقاومتی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در پایداری خاک‌ها هستند. تأثیر سیمان بر خواص و ساختار خاک‌ها، در طیف وسیعی مطالعه شده است. توانایاگام[1] و همکاران (۲۰۰۲) با انجام مطالعات دریافتند، از سیمان برای اصلاح خاک، افزایش کارایی و تراکم بهتر و نیز برای تثبیت خاک و در نتیجه بهبود رفتار مکانیکی آن استفاده می‌شود. بررسی‌های سایر پژوهشگران در این زمینه نیز به نتایج مشابه منجر شده است. همچنین محققان در طی سال‌های گذشته تحقیقات متعددی را بر روی تثبیت خاک‌ها با استفاده از مواد شیمیایی و سیمان انجام داده‌اند. ابوفرسخ[2] و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات در مقادیر پارامترهایی نظیر مدول ارتجاعی و تغییرشکل‌های دائمی در خاک‌های بسیار ضعیف تثبیت‌شده با سیمان را بررسی کرده‌اند. در پژوهش‌های آن‌ها پنج نوع خاک با سه درصد رطوبت متفاوت مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج کار آنان نشان داد که تثبیت خاک با سیمان موجب افزایش مدول ارتجاعی و کاهش تغییر شکل‌های ماندگار خاک می‌شود. تحقیقات موهونتان و ساریوسیری[3] (۲۰۰۸) نشان می‌دهد که محدودیت منابع قرضه با دانه‌بندی مناسب در فعالیت‌های رایج مهندسی باعث رواج هر چه بیشتر استفاده از دانه‌های شنی با اندازه‌های درشت و تا مرز قلوه‌سنگ در خاکریزها شده است. به کارگیری چنین ذرات درشت‌دانه‌ای در شیب‌ها و خاکریزها مستلزم در نظرگرفتن تأثیرات آن‌ها در مخلوط با خاک‌های ریزتر است.

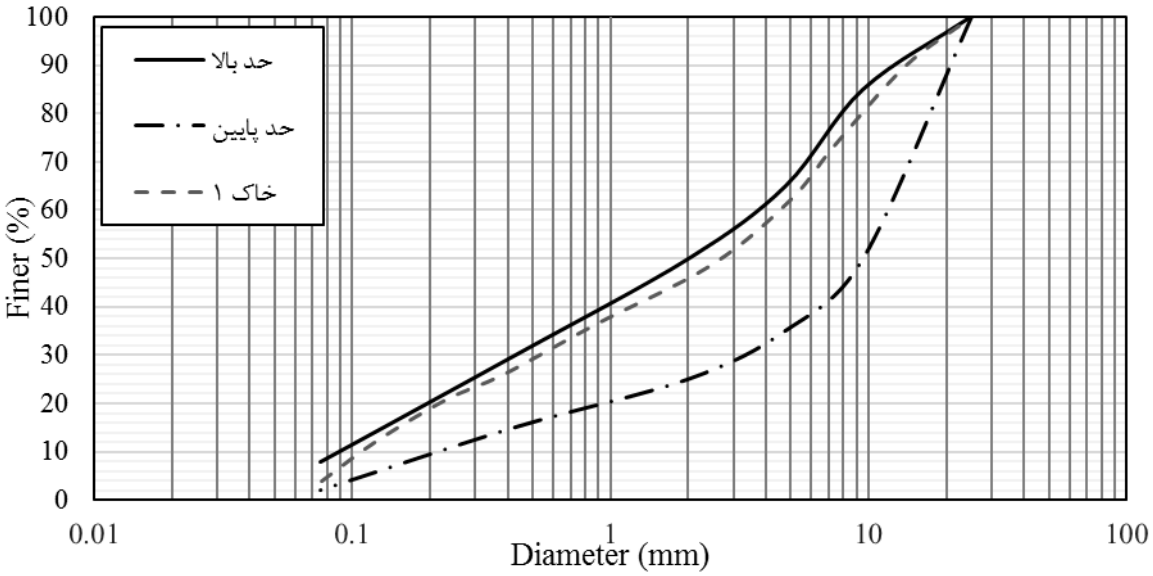
برای مثال تعیین متغیرهای مقاومتی و تغییرشکل چنین مخلوط‌هایی برای تعیین پایداری شیروانی‌ها، شیب پوسته سدهای خاکی، فرودگاه‌ها و راه‌ها ضروری است. از سوی دیگر در بسیاری از موارد، خاک ساختگاهی که با آن سروکار داریم به‌صورت ترکیبی از شن‌ها در خمیره‌ای از ذرات ریزتر است. محدودیت ابعاد دستگاه‌های آزمایشگاهی متعارف مانع از انجام آزمایش بر روی نمونه‌های با ابعاد درشت می‌شود. تحقیق حاضر تأثیر افزودن سیمان بر بهبود پارامترهای مقاومت فشاری محدود نشده و CBR انواعی از خاک‌های مخلوط استان همدان در دوره‌های عمل‌آوری متفاوت، مطالعه و مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

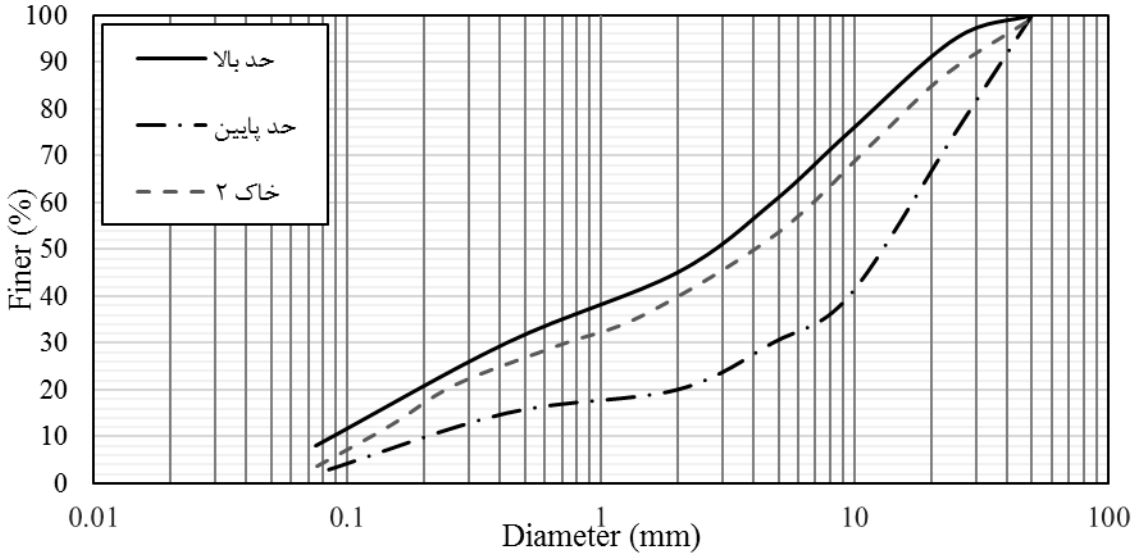
۲-۱- مشخصات مواد استفاده شده در آزمایش‌ها

در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ ۱-۵۲۵ طبق استاندارد ایران به شماره ISIRI 389، محصول کارخانه سیمان سامان کرمانشاه استفاده شده است. خاک نوع اول زیراساس متعلق به جاده تویسرکان به ملایر، خاک نوع دوم زیراساس متعلق به جاده توره به اراک برداشت شده‌اند. خاک‌های مورد نظر از شرکت جهاد نصر استان مرکزی تهیه شده است.که مطابق سیستم طبقه بندی یکنواخت خاک نوع اول SP و بد دانه‌بندی شده خاک نوع دوم SP و بد دانه‌بندی شده است. منحنی دانه‌بندی این خاک‌ها در شکل‌های (۲-۱) تا (۲-۲) نشان داده شده است. در جدول ۲-۱ تا ۲-۳ نیز برخی ویژگی‌های خاک‌ها آورده شده است.

[1] Thevanayagam
[2] Abu-Farsakh
[3] Muhunthan & Sariosseiri



شکل۲-۱- منحنی دانه‌بندی خاک ۱



شکل۲-۲- منحنی دانه‌بندی خاک ۲

جدول۲-۱- چگالی ویژه خاک‌ها

نام خاک USCS	G_S
S1	۲/۶۹
S2	۲/۶۶

جدول ۲-۲: نتایج آزمایش تراکم اصلاح‌شده برای خاک ۱

درصد سیمان	W_{opt}	$\gamma_{d\,max}$
۰	۴/۸۲	۲/۰۷
۱	۵/۲۹	۲/۱۰
۲	۵/۷۶	۲/۱۴
۳	۶/۴۱	۲/۱۹
۴	۶/۷۱	۲/۱۷

جدول ۲-۳: نتایج آزمایش تراکم اصلاح‌شده برای خاک ۲

درصد سیمان	W_{opt}	$\gamma_{d\,max}$
۰	۴/۵۱	۲/۱۱
۱	۴/۹۵	۲/۱۳
۲	۵/۴۸	۲/۱۵
۳	۵/۹۲	۲/۲۰
۴	۶/۳۲	۲/۱۶

۲-۲- شرح آزمایش‌ها

با استفاده از دستگاه مقاومت فشاری محدودنشده می‌توان ظرفیت باربری نمونه‌های خاک را به‌دست آورد. آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده یکی از ساده‌ترین و سریع‌ترین روش‌های آزمایشی به‌منظور تعیین مقاومت خاک‌ها است. از مزایای این آزمایش اعمال یکنواخت تنش و کرنش و همچنین سطح شکست در ضعیف‌ترین قسمت نمونه است. در این آزمایش، فشاری اطراف نمونه وجود ندارد. بار محوری به‌سرعت به نمونه اعمال می‌شود تا آن را گسیخته کند.

۲-۲-۱ آزمایش تک محوری

بر اساس استاندارد ASTM D 2166 برای آزمایش تک‌محوری حداقل قطر نمونه باید ۳۰ میلی‌متر و حداکثر اندازه سنگ‌دانه در نمونه باید کوچک‌تر از ۰/۱ قطر نمونه باشد و همچنین نسبت طول به قطر نمونه باید در محدوده ۲ تا ۲/۵ باشد؛ بنابراین قطر نمونه مورد آزمایش ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر انتخاب شد. نمونه‌ها درون قالب فلزی ساخته شدند و انرژی تراکم توسط چکش فلزی به خاک منتقل می‌شود. ترکیب آماده‌شده، در ۴ لایه که ضخامت هر لایه ۵ سانتی‌متر است کوبیده می‌شود. سطح لایه کوبیده شده، قبل از ریختن خاک لایه بعد، با استفاده از چنگال خراشیده می‌شود. به‌منظور ساخت نمونه‌ای همگن، با ثابت نگاه داشتن ضخامت هر لایه، انرژی تراکم از لایه‌ی اول به چهارم افزایش می‌یابد (شکل ۲-۳).

شکل ۲-۳- نمونه ساخته‌شده آزمایش تک‌محوری

از آن‌جا که مقدار سیمان به‌کار رفته زیاد نیست، باز کردن قالب قبل از گیرش نمونه ممکن است باعث مقداری تغییر شکل در نمونه شود. بنابراین تا هنگامی‌که ممکن باشد نمونه‌ها در داخل قالب نگهداری می‌شوند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت از مرحله تهیه نمونه‌ها، نمونه‌های ساخته‌شده از قالب بیرون آورده شده و نمونه‌ها را به مدت ۲ و ۶ روز در محیط به‌وسیله گونی مرطوب نگه‌داری می‌شود. (شکل ۲-۴)؛ و پس از آن در دستگاه تحت بارگذاری قرار می‌گیرند (شکل ۲-۵). لازم به ذکر است که به‌منظور سهولت در بیرون آوردن نمونه بدون آسیب‌دیدگی، قبل از ساخت نمونه، قالب کمی به وازلین آغشته می‌شود.

شکل ۲-۴- نگهداری نمونه‌های تثبیت‌شده با سیمان

شکل ۲-۵- نمونه تثبیت‌شده با سیمان تحت بارگذاری در دستگاه تک‌محوری

کرنش محوری (ε) با تقریب ۰/۰۱ درصد و از طریق رابطه (۲-۱) محاسبه می‌شود.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (۲-۱)$$

در این رابطه:

ΔL (mm) تغییر شکل نمونه که با دستگاه کرنش‌سنج قائم تعیین می‌شود

L_0 (cm) میانگین ارتفاع اولیه نمونه مورد آزمایش

- سطح مقطع نمونه در طی آزمایش تغییر کرده و با توجه به کاهش طول نمونه، افزایش می‌یابد. با فرض اینکه حجم کل نمونه طی آزمایش تغییر نکرده، یعنی در حین بارگذاری آب از نمونه خارج نشده است، حجم اولیه نمونه بر اساس رابطه (۲-۲) محاسبه می‌شود.

$$V = A_0 L_0 \quad (۲-۲)$$

V= حجم کل اولیه نمونه خاک (cm^3)

A_0 = میانگین سطح مقطع اولیه نمونه (cm^2)

بعد از اعمال بارگذاری و تغییر در ارتفاع نمونه به‌اندازه ΔL رابطه (۲-۳) برای حجم اعتبار دارد.

$$V = A'(L_0 - \Delta L) \quad (۲-۳)$$

A' = میانگین سطح مقطع تصحیح‌شده برای بار وارده

از ساده کردن روابط (۲-۲) و (۲-۳) می‌توان رابطه (۲-۴) را نتیجه گرفت.

$$A' = \frac{A_0}{1-\varepsilon} \quad (۴-۲)$$

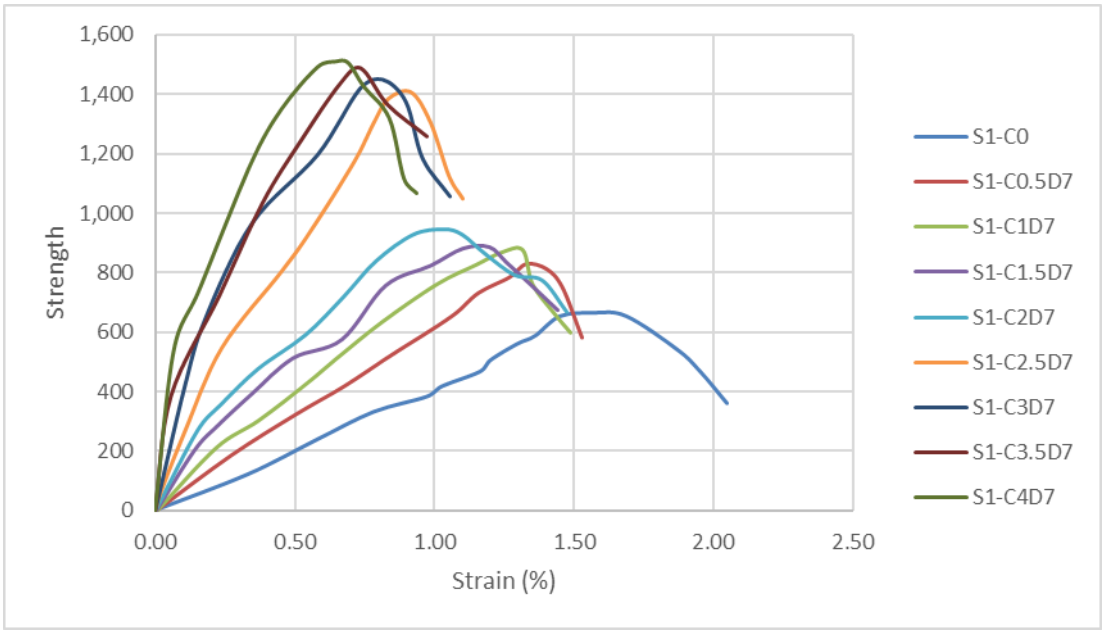
- تنش فشاری (σ_c): تنش فشاری بر روی نمونه در هر لحظه از رابطه (۲-۵) به‌دست می‌آید.

$$\sigma_c = \frac{P}{A'} \quad (۶-۳)$$

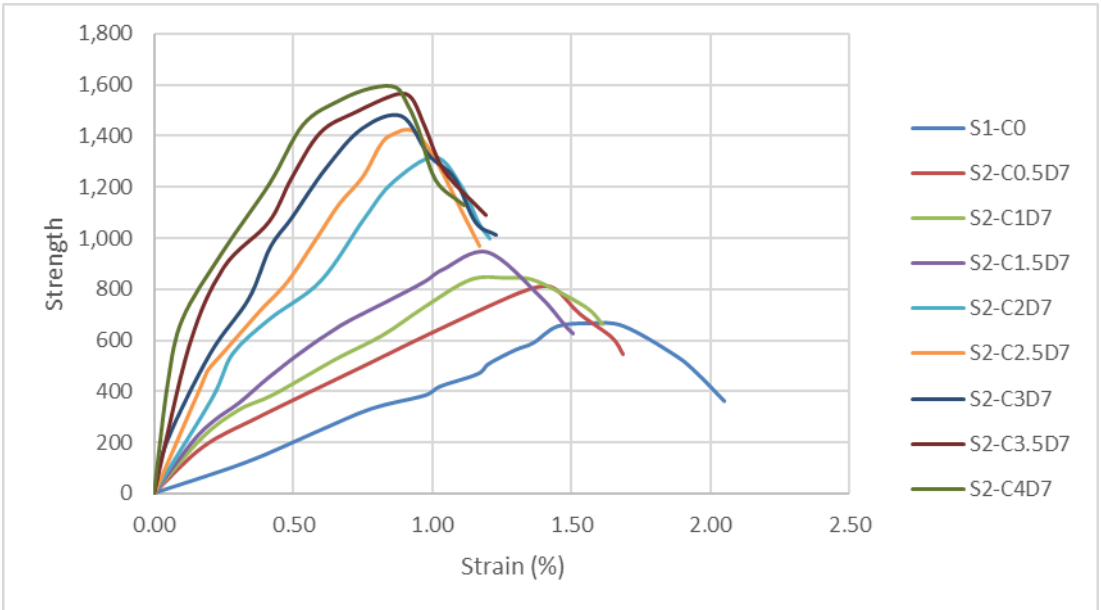
P= بار وارده بر نمونه در هر لحظه (kPa)

۳- بحث و نتیجه‌گیری

در شکل‌های (۳-۱) تا (۳-۲) نتایج آزمایش‌های تک‌محوری نمونه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- نتایج آزمایش تک محوری خاک ۱ با عمل‌آوری ۷روزه



شکل ۳-۲- نتایج آزمایش تک محوری خاک ۱ با عمل‌آوری ۷روزه

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که افزودن سیمان به خاک‌ها، موجب افزایش مقاومت فشاری محدود نشده نمونه‌ها گردیده و با افزایش میزان سیمان تا مقدار بهینه، مقاومت با شیب بیشتری افزایش می‌یابد و با افزودن سیمان روند افزایش مقاومت با شیب کمتری افزایش یافت.

میزان سیمان بهینه در خاک ۱ در حدود ۲ تا ۲/۵ درصد است و در مقادیر بیش از ۲/۵ درصد مقاومت نمونه‌ها با شیب کمتری افزایش می‌یابد.

میزان سیمان بهینه در خاک ۲ در حدود ۱/۵ تا ۲ درصد است و در مقادیر بیش از ۲ درصد مقاومت نمونه‌ها با شیب کمتری افزایش می‌یابد.

مراجع

[۱] Thevanayagam. S., Shenthan. T., Mohan. S. and Liang. J. (2002). Undrained fragility of clean sands, silty sands, and sandy silts. Journal of Geotech. Geoenviron. Eng. ASCE, Vol. 128 (10): 849-859.

[۲] Abu-Farsakh, M., Dhakal, S. & Chen, Q. (2015). Laboratory characterization of cementitiously treated/stabilized very weak subgrade soil under cyclic loading. Soils and Foundations, 55(3), 504-516.

[۳] Muhunthan, B., & Sariosseiri, F. (2008). Interpretation of geotechnical properties of cement treated soils. Washington State University, Department of Civil & Environmental Engineering. No. 715.1.