چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علوم زمین
The 42nd National Geosciences Congress
www.geoconf.ir

بررسی اثرات نانوسیلیس بر روی مقاومت فشاری خاک‌های دانه‌ای در منطقهٔ شبستر (استان آذربایجان‌شرقی)

فرهاد پیرمحمدی علیشاه*[1]، مهدی محمدرضایی[2]

[1] استادیار گروه مهندسی عمران، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران*
Email: Petrofarhad@iaushab.ac.ir
[2] استادیار، گروه عمران، واحد تسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، تسوج، ایران
Email: mehdi.aku@gmail.com

چکیده

یکی از روش‌های اصلاح ساختار خاک، استفاده از مواد افزودنی به عنوان عامل تثبیت کننده می‌باشد. مصالح مورد استفاده در تثبیت خاک شامل مصالح سنتی از جمله آهک و سیمان می‌باشند. امروزه عمدتا علاوه بر استفاده از تثبیت‌کننده‌های سنتی، استفاده از نانومواد نیز مورد توجه محققین در حوزهٔ ژئوتکنیک قرار گرفته است. به دلیل واکنش‌پذیری بالای نانوذرات و خصوصیات درون ذره‌ای آنها از جمله تخلخل‌های درون ذره‌ای، کاربرد مقادیر بسیار اندکی از این ذرات می‌تواند خصوصیات خاک را بهبود بخشد. برخی خاک‌ها به علت دارا بودن ویژگی‌های فنی نامطلوب برای برخی از پروژه‌های عمرانی مناسب نمی‌باشند و نامرغوب محسوب می‌شوند. این گونه خاک‌ها بعضا به دلیل حساسیت و ناپایداری در برابر رطوبت، مقاومت کم و تراکم‌پذیری مشکلات فراوانی را از نظر فنی و اقتصادی ایجاد می‌کنند. هر گاه به عللی امکان تغییر مکان پروژه و تعویض خاک نباشد و یا اینکه هزینه تعویض خاک مقرون به صرفه نباشد باید روش اصلاح و بهبود خاک مورد بررسی قرار گیرد، تا چنانچه این روش از نظر اقتصادی و فنی قابل توجیه باشد مبادرت به انجام آن شود. از این منظر اثرات نانو سیلیس بر روی مقاومت فشاری خاک مهم و ضروری ارزیابی می‌گردد. هدف از انجام این تحقیق اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک محوری خاک‌های دانه‌ای می‌باشد. نتایج نشان داد که درصد افزودنی نانوسیلیس جهت مقاومت فشاری بهینه در خاک ماسه‌ای حدود ۲ درصد می‌باشد. مقایسه سه سری مقاومت فشاری خاک ماسه‌ای در درصدهای مختلف افزودنی نانوسیلیس حداقل مقاومت را حدود ۳ و حداکثر مقاومت را ۵/۵ نشان می‌دهد. در این راستا استفاده از نانو سیلیس به عنوان یک افزودنی مناسب و کارا در فرآیندهای مقاوم‌سازی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی

خاک دانه‌ای، نانوسیلیس، مقاومت فشاری، ماسه، شهرستان شبستر.

۱. مقدمه

امروزه جهت تثبیت خاک، علاوه بر افزودنی‌های سنتی، رویکرد استفاده از افزودنی‌هایی در ابعاد نانو نیز مورد توجه قرار گرفته است. هنگامی که ذرات ریزتر می‌شوند، سطح ویژه ذرات افزایش یافته و مقدار بیشتری اتم در سطح ذرات حضور می‌یابند که خود باعث افزایش قابلیت تبادل یونی و در نتیجه واکنش‌پذیری ذرات می‌شود. به دلیل واکنش‌پذیری بالای نانوذرات و خصوصیات درون ذره‌ای آنها از جمله تخلخل‌های درون ذره‌ای، کاربرد مقادیر بسیار اندکی از این ذرات می‌تواند خصوصیات خاک را بهبود بخشد [۳-۱].

یکی از روش‌های اصلاح ساختار خاک، استفاده از مواد افزودنی به عنوان عامل تثبیت‌کننده می‌باشد. مصالح مورد استفاده در تثبیت خاک شامل مصالح سنتی از جمله آهک و سیمان می‌باشند. امروزه عمدتا علاوه بر استفاده از تثبیت‌کننده‌های سنتی، استفاده از نانومواد نیز مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. ژانگ (۲۰۰۴) با افزودن ٪۹ ذرات اکسید آهن به خاک سیلتی، نشان داد که این ذرات باعث ایجاد یک شبکه ارتباطی بین ذرات آلی و اکسید آهن شده و در نتیجه باعث چسبندگی و سیمانی شدن خاک می‌شوند [۴]. گاالگر (2004)، بارتون و همکاران (۲۰۰۹)، چنگیزی و حداد (۲۰۱۵) به بررسی نانوذرات سیلیس بر خصوصیات خاک‌های رسی پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که استفاده از درصدهای کم نانوسیلیس باعث افزایش چسبندگی خاک‌های رسی می‌شود[۵-۷]. طاها و طاها (۲۰۱۲) با افزودن نانورس، نانوآلومین و نانومس به خاک رسی، تأثیر این نوع نانومواد بر رفتار تورمی و انقباضی خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده کاهش کرنش انقباضی و تورمی با افزودن نانومواد می‌باشد [۸]. خالد و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر نانوذرات کائولین بر روی خاک کائولینیت پرداخته و به این نتیجه رسیدند که استفاده از درصد کمی از نانوذرات کائولینیت باعث بهبود چشمگیر ویژگی‌های پایه‌ای و مهندسی خاک کائولینیت می‌شود [۹].

در بررسی انجام شده توسط آزم (۲۰۱۴) بر روی تأثیر نانوکامپوزیت‌های القایی بر دوام خاک رسی انبساطی، مشخص گردید که پس از زمان عمل‌آوری بلند مدت ۲۸ روز با استفاده از ٪۱۵ پلیمر، درصد انبساط خاک دچار ۹۰ ٪ کاهش شده؛ اما صلبیت خاک و مقاومت فشاری محصور نشده خاک به ترتیب ۵/۴ و ۲/۲ برابر افزایش یافته است [۱۰]. چنگیزی و حداد (۲۰۱۶) با بررسی نانوذرات رس بر ویژگی‌های مکانیکی خاک رسی به این نتیجه رسیدند که افزودن ذرات نانورس و الیاف شیشه به خاک رسی به ترتیب باعث کاهش و افزایش کرنش گسیختگی خاک می‌شوند [۱]. در بررسی انجام شده توسط چوب‌بستی و همکاران (۲۰۱۶) مشخص گردید که افزودن نانوسیلیس به خاک ماسه‌ای سیمنته شده باعث افزایش مقاومت و مدول سکانت خاک می‌گردد [۱۱]. عبداله و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی اثر نانوذرات رس بر خصوصیات مقاومتی و تورمی خاک‌های رسی منبسط شونده پرداختند.

نتایج بررسی آنها نشان‌دهنده افزایش اندک مقاومت و کاهش قابل توجه پتانسیل تورم خاک‌ها با افزودن نانورس می‌باشد [۱۲]. اسوارامورسی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر نانوذرات سیلیس و آهک بر روی خاک رسی پرداخته که نتایج نشان‌دهنده تأثیر20% نانوذرات سیلیس بر مقاومت تک‌محوری نمونه‌های بهسازی شده با آهک می‌باشد[۱۳]. یاو و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر نانواکسید منیزیم بر روی خاک نرم تثبیت شده با سیمان پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که نانواکسید منیزیم نقش مهمی در بهبود خصوصیات مقاومتی خاک نرم تثبیت شده با سیمان دارد[۱۴]. کلهر و همکاران (۲۰۱۹) اثر نانوذرات سیلیس بر خصوصیات مقاومتی خاک ریزدانه در شرایط سیکل ذوب و یخبندان را بررسی کردند که نتایج نشان‌دهنده ترد شدن رفتار نمونه‌ها و کم شدن مقاومت نمونه‌های تثبیت شده با نانوذرات سیلیس پس از دوره‌های سیکل ذوب و یخبندان می‌باشد[۱۵]. کریمی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر نانوسیلیس بر مقاومت فشاری خاک رس تبریز پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان‌دهنده افزایش ۷۰ درصدی مقاومت نمونه‌ها پس از افزودن نانوسیلیس است [۱۶]. آنوج و همکارن (۲۰۱۹) به بررسی تأثیر نانوسیلیس و الیاف پلیپروپیلن بر مقاومت و دوام خاک‌های رسی پرداختند. نتایج ایشان نشان‌دهنده بیشینه مقاومت و دوام خاک در ۷ درصد نانوسیلیس و ۰/۷ الیاف می‌باشد [۱۷]. کوالنتایو و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی اثر نانوسیلیس بر مقاومت خاک‌های رسی تثبیت شده با سیمان سفید پرداختند. نتایج حقیق نشان‌دهنده افزایش مقاومت در نمونه‌های بهسازی شده با سیمان تا ۲ درصد نانوسیلیس می‌باشد که در این درصد نانوسیلیس نفوذپذیری نمونه‌ها ۴۵ درصد کاهش می‌یابد[۱۸].

با مروری بر تاریخچه نانوفناوری و بطور خاص کاربرد آنها در ژئوتکنیک، انگیزه اصلی محققین در پژوهش بر روی موادی با ابعاد و ساختار نانو در دهه‌های اخیر را می‌توان به تغییر خصوصیات و رفتار اینگونه مواد با خصوصیات موادی در ابعاد بزرگتر نسبت داد. این ویژگی‌ها شامل خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی بوده و به طور کلی می‌توان گفت که مواد با ابعاد نانو، به حالت انفرادی یا مجتمع، از رفتارهای

منحصر به فردی از قبیل سطح ویژه بسیار بالا و بارهای سطحی و مورفولوژی خاص آنها برخوردار بوده که باعث تأثیر بیشتر این ذرات در واکنش‌های شیمیایی نسبت به واکنش فیزیکی می شود. با مرور بر پیشینه پژوهش می‌توان فهمید که داده‌های تجربی و آزمایشگاهی در ارتباط با نانومواد و اثرات آنها بر رفتار ژئوتکنیکی خاک و توانایی آنها در اصالح و تثبیت انواع خاکها محدود بوده و این در حالی است که ظرفیت پژوهش و بررسی در این زمینه به مراتب فراتر می‌باشد. از سوی دیگر در مطالعات بهسازی با نانومواد، تاکنون مطالعات ناچیزی بر روی نانوسیلیس از دیدگاه ژئوتکنیکی به عنوان تثبیت‌کننده انجام شده است. به دلیل پراکندگی وسیع سیلیس از دیدگاه زمین‌شناسی و نیز کاربرد سیلس در روش‌های بهسازی خاک مانند تزریق و اختلاط عمیق، بررسی دقیق‌تر تأثیر افزودن این ماده (به‌ویژه در ابعاد نانو) بر روی خاک، اهمیت زیادی پیدا می‌کند. با توجه به بررسی در پیشینه تحقیق می‌توان به این نتیجه رسید که عموم مطالعات در حوزه نانوفناوری، محدود بررسی‌های آزمایشگاهی بوده و بررسی توأمان غیرآزمایشگاهی و ریزساختاری در این حوزه انجام نشده است. لذا در این تحقیق ابتدا به بررسی آزمایشگاهی نانوذرات سیلیس بر روی خاک‌های ماسه‌ای رس‌دار پرداخته شده است.

۲. روش تحقیق

در این تحقیق، بررسی آزمایشگاهی تأثیر نانوسیلیس بر روی مقاومت فشاری تک‌محوری خاک ماسه‌ای رس‌دار انجام شده است. بدین منظور خاک ماسه‌ای رس‌دار از منطقه شمال شهرستان شبستر در شمال غرب ایران تهیه شده است.

شکل ۱. محدودهٔ نمونه برداری در شهرستان شبستر(شمال غرب ایران)

برای انجام آزمایش، ابعاد و وزن نمونه مطابق استاندارد اندازه گیری شده و در دستگاه بارگذاری بر روی صفحه پایینی قرار داده می شود و صفحه بالایی بدون اعمال بار بر روی سطح نمونه در تماس قرار می‌گیرد. گیج تغییر مکان در این شرایط صفر می‌شود. بارگذاری با سرعتی انجام می‌شود که ۰/۵ تا ۲ درصد کرنش محوری در دقیقه حاصل شود به گونه‌ای که مدت زمان لازم برای گسیختگی نمونه درحدود ۱۵ دقیقه باشد. آزمایش زمانی متوقف می‌شود که نمونه گسیخته شود. نتایج آزمایش به صورت نمودار تنش-کرنش نمایش داده شده و میزان مقاومت فشاری تک محوری خاک تعیین می‌شود. پارامتر مقاومت فشاری، درصد افزودنی مواد نانو سیلیس و نمونه‌های خاک دانه‌ای و چسبنده از متغیرهای مورد بررسی این تحقیق محسوب می‌گردد. مطالعه نیز به روش آزمایشگاهی بوده و قسمتهای مقدماتی آن کتابخانه‌ای می‌باشد. داده‌هایی که از آزمایشگاه استخراج می‌گردند پس از تحلیل و بررسی توسط نرم افزارهایی نظیر اکسل در قالب نمودار و جداول ارائه شده و ارائه روابط و ضرایب در دستور کار قرار می‌گیرد.

۳. آماده‌سازی نمونه‌ها و انجام آزمایش‌ها

جهت تهیه نمونه‌ها پس از مخلوط نمودن خاک‌ها با درصدهای مشخصی از نانوسیلیس (۰٪، ۰/۵٪، ۱٪، ۱/۵٪، ۲٪ و ۲/۵٪) و تهیه مخلوط همگن، خاک در ۵ لایه، درون قالب استوانه‌ای متراکم شده است. میزان انرژی وارده ثابت و برابر با انرژی کوبیدن چکش استوانه‌ای بر هر لایه، تقریبا به وزن ۲/۵ کیلوگرم و تعداد کوبش ۲۵ ضربه از فاصله‌ای حدود ۵ سانتیمتر از سطح خاک بوده است (D ۲۱۶۶ ASTM). در نهایت، پس از خارج نمودن نمونه از قالب و توزین آن، ابعاد نمونه توسط کولیس اندازه‌گیری شده است. شایان ذکر است که به منظور بررسی اثر نانوسلیس، آماده‌سازی و اختلاط نمونه‌ها می‌بایست در شرایطی انجام می‌شد که بهترین شرایط پخش‌شدگی نانو در خاک فراهم شود. بدین منظور ابتدا آب و ذرات نانوسیلیس در درصدهای بیان شده، به طور مجزا در یک مخلوط کن با سرعت بالا (1000 rpm) به صورت دوغاب درآمده و سپس به توده خاک اضافه شد. انتخاب درصد نانوذرات مورد استفاده به دلیل میزان واکنش‌پذیری بالای این ذرات بوده که در مطالعات سایر محققین نیز مورد تأکید قرار گرفته است [۱ و ۱۸]. جهت بررسی تأثیر نانوسیلیس بر روی مشخصات مقاومتی خاک‌ها، در مجموع ۷۲ نمونه تهیه شده و به منظور اعمال زمان عمل‌آوری و در عین حال حفظ رطوبت نمونه‌ها، در محفظه نایلونی نگهداری شده‌اند. سپس آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری در سه زمان عمل‌آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه مطابق با استاندارد ASTM C ۶۱۷ بر روی این نمونه‌ها و نمونه‌های بدون افزودنی انجام شده است. قطر و ارتفاع نمونه‌های ساخته شده برای آزمایش تک‌محوری به ترتیب ۴ و ۱۰ سانتیمتر می‌باشد. شکل ۲ نمونه آماده شده جهت آزمایش تک‌محوری را نشان می‌دهد که به روش تراکم مرطوب تهیه شده است.

شکل۱. نمونه ساخته شده به روش تراکم مرطوب

با توجه با اینکه نمونه‌ها در شرایط اشباع نمی‌باشند، پدیده کشش آب (Suction Water) می‌تواند باعث افزایش تنش مؤثر و در نهایت مقاومت نمونه‌ها شود. اما با توجه به سرعت انجام آزمایش (۲/۱ میلیمتر بر دقیقه) و عدم وقوع تبخیر در حین انجام آزمایش می‌توان از این اثر صرفنظر نمود. از سوی دیگر در این مطالعه درصد رس متغیر بوده و در درصد رس بالای ۲۰ درصد با توجه به افزایش چسبندگی، رفتار نمونه‌های آماده شده به رفتار خاک چسبنده نزدیک شده و در نمونه‌های با ۳۰ درصد، رفتار خاک چسبنده را پیدا کرده است، به طوری که حتی شکست نمونه‌ها در کرنش‌های بسیار بالا رخ داده است. از آنجایی که بخش نانوذرات با بخش رسی واکنش داده و منجر به افزایش یقینا چسبندگی می‌گردد، آزمایش تک‌محوری معیار مناسبی برای بررسی این تغییرات می‌باشد و لذا از این آزمایش استفاده گردیده است.

۴. نتایج و بحث

همانطور که بحث شد آزمایش فشار محدود نشده نوع ویژه‌ای از آزمایش تحکیم نیافته است که معمولا برای نمونه‌های رسی مورد استفاده قرار می گیرد. در این آزمایش فشار محدود کننده صفر است. بار محوری تا ایجاد گسیختگی در نمونه به سرعت اعمال می شود. این

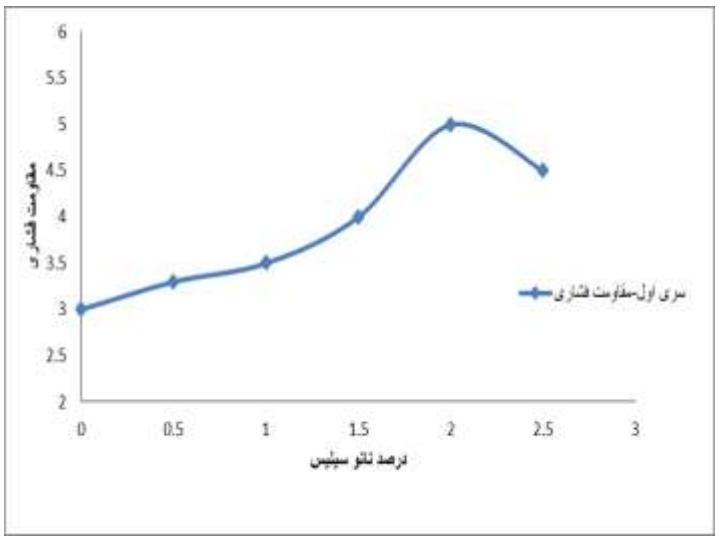
مقاومت با اعمال تنش محوری به نمونه استوانه‌ای شکل خاک بدون آن که فشار محیطی به آن وارد و یا بررسی کرنش‌های محوری مربوط به مقادیر مختلف تنش تعیین می شود. تنشی که بر اثر آن در نمونه خاک گسیختگی رخ می‌دهد به نام مقاومت فشاری ساده (تک محور) نامیده شده است. دستگاه انجام این آزمایش که به کمک آن آزمایش به روش کرنش کنترل شده (کنترل کرنش) انجام می‌شود. دستگاه مرکب از دو اعمال بار از بالا و پایین است. حلقه دستگاه در بالا به کمک میله‌ای رزوه شده به یک تیر عرضی که آن نیز به نوبه خود به دو پایه فلزی متکی است متصل است. فک و صفحه پایینی در جهت قائم می تواند بالا و پایین برود. در این راستا نمونه‌ای برای آزمایش تهیه می کنیم. ابتدا ۵ کیلوگرم خاک را آماده کرده و به آن ۷۵۰ گرم آب به آن اضافه می کنیم (۱۵ ٪). سپس خاک مورد نظر را همانند آزمایش های گذشته در ۵ لایه و هر لایه با ۲۵ ضربه متراکم می کنیم. از خاک متراکم شده نمونه‌ای استوانه‌ای بر می‌داریم. نسبت ارتفاع به قطر نمونه باید بین ۲ تا ۳ باشد. نمونه را دقیقا بین دو فک دستگاه قرار می‌دهیم. فک فوقانی را به دقت بر روی سطح فوقانی نمونه مماس می‌کنیم. سپس عقربه مدرج متصل به حلقه را روی صفر می‌گذاریم. یک عقربه مدرج دیگر نیز باید برای ثبت حرکت رو به بالای فک پایین دستگاه (یعنی برای ثبت میزان فشرده شدن نمونه در حین آزمایش)متصل باشد. این عقربه را باید در ابتدای آزمایش روی صفر قرار داد. دستگاه را روشن می‌کنیم و بارهای وارده و تغییر شکل‌های نمونه را ثبت و یادداشت می‌کنیم (شکل ۳).

شکل ۳. مکانیزم شکست در نمونه‌های با درصد مختلف نانوسیلیس

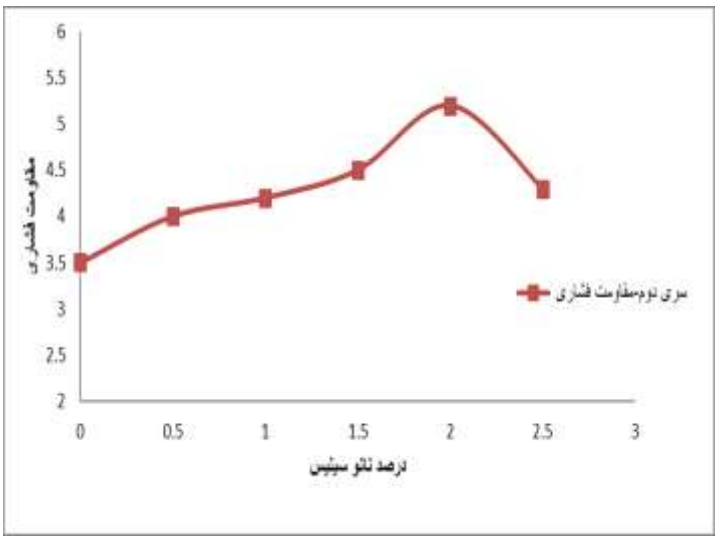
فواصل میان کرنش‌ها را ثابت می‌گیریم و نیروی مربوطه را قرائت می‌کنیم. در ابتدا قرائت ها با فواصل کم و در ادامه به علت نزول منحنی بار- تغییر شکل فواصل بیشتری در نظر می‌گیریم. قرائت ها انجام می‌شود تا هنگامی که بار به نقطه اوجی رسیده و سپس کاهش یابد و یا بار به مقدار حدِ اکثری رسیده و بعد از آن تقریبا ثابت باقی بماند. با پایین بردن فک پایین دستگاه بار از روی نمونه بر داشته می‌شود. نمونه را از بین دو فک خارج می‌کنیم. از نمونه و شکل گسیختگی آن عکس تهیه می‌کنیم. نمونه را در گرمکن گذاشته و درصد رطوبت آن را به دست می‌آوریم.

از منظر اتمی، در حالت کشش، هر یک از مولکول‌ها یا اتم‌ها تمایل دارند که از هم جدا شوند؛ در حالی که در فشار، آنها به هم نزدیک‌تر می‌شوند. از آنجایی که همیشه اتم‌ها در جامدات سعی دارند که به یک حالت متعادل رسیده و با اتم‌های پیرامون خود فاصله مناسب داشته باشند، نیروهایی در کل ماده به‌وجود می‌آیند که در مقابل کشش و فشار مقاومت می‌کنند. پدیده غالب در سطح اتمی، مشابه همین است. در مقیاس بزرگتر نیز ویژگی‌های مواد در کشش و فشار کاملا مشابه هم هستند. تفاوت عمده بین این دو حالت بارگذاری، کرنشی است که برای کشش (مثبت-افزایش طول) و فشار (منفی-کاهش طول) ثبت می‌شود. دیگر تفاوت عمده، در این است که در کشش، بدنه جسم مورد نظر تمایل به لاغر شدن و در فشار تمایل به افزایش قطر و کمانش دارد. قبلا اشاره شد که بنا به تعریف، مقاومت فشاری برابر است با مقدار تنش فشاری تک محوری، هنگامی که المان مورد نظر کاملا گسیخته می‌شود. میزان مقاومت فشاری، معمولا به وسیله آزمایش فشار و به صورت تجربی به دست می‌آید. دستگاه آزمایش فشار، برای آزمایش کشش نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این تفاوت که به جای اعمال یک بار فشاری تک محوره، بار کششی تک محوره اعمال می‌شود. در آزمایش فشار، نمونه مورد آزمایش معمولا

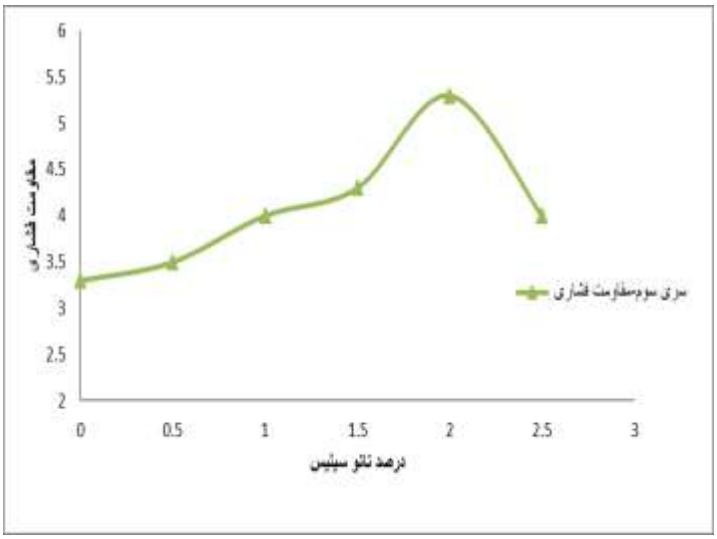
استوانه‌ای شکل کوتاه‌تر شده و چاق می‌شود. بررسی اثرات نانوسیلیس بر روی مقاومت فشاری خاک بسیار ضروری و مهم قلمداد می‌گردد چرا که برخی خاک ها به علت دارا بودن ویژگی‌های فنی نامطلوب برای برخی از پروژه‌های عمرانی مناسب نمی‌باشند و نامرغوب محسوب می‌شوند. این گونه خاک‌ها بعضا به دلیل حساسیت و ناپایداری در برابر رطوبت، مقاومت کم و تراکم پذیری مشکلات فراوانی را از نظر فنی واقتصادی ایجاد می‌کنند. هر گاه به عللی امکان تغییر مکان پروژه وتعویض خاک نباشد و یا اینکه هزینه تعویض خاک مقرون به صرفه نباشد باید روش اصلاح و بهبود خاک مورد بررسی قرار گیرد تا چنانچه این روش از نظر اقتصادی و فنی قابل توجیه باشد مبادرت به انجام آن شود. از این منظر اثرات نانوسیلیس بر روی مقاومت فشاری خاک مهم و ضروری ارزیابی می‌گردد. تحلیل و بررسی پارامترهای مرتبط با مقاومت و مکانیک خاک امری مهم و البته کاربردی و حساس است. بهبود خواص خاک بسیار مهم و حیاتی است. در کشورهای صنعتی تولید کننده سیلیس معمولاً این ماده برای تثبیت مصالح لایه های خاک استفاده می شود و این علم و اربردهای آن رو به گسترش است. همچنین از سیلیس می توان برای تثبیت خاک‌های با مشخصات و دانه‌بندی‌های مختلف استفاده کرد.



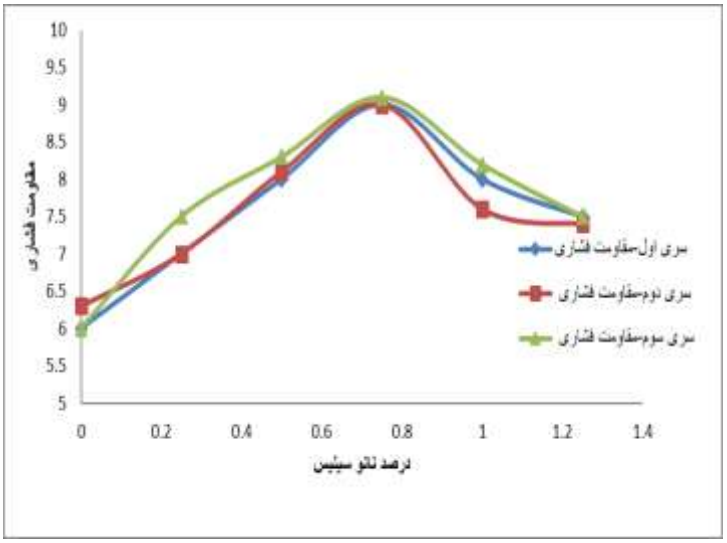
شکل ۴- مقاومت فشاری خاک ماسه ای در درصدهای مختلف افزودنی نانوسیلیس



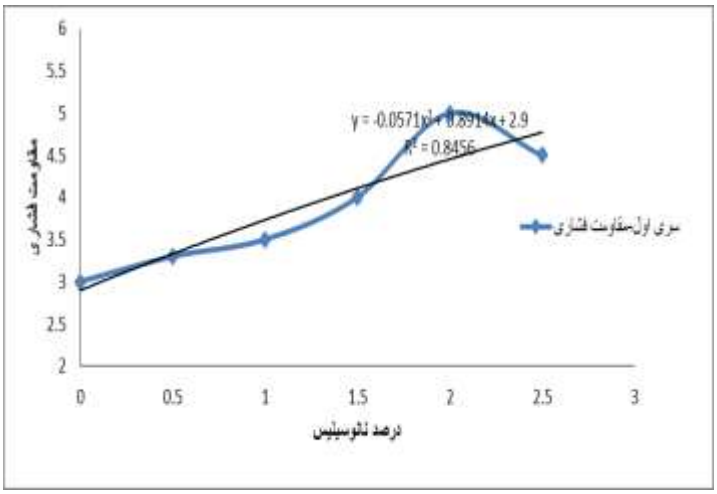
شکل ۵- مقاومت فشاری خاک ماسه ای در درصدهای مختلف افزودنی نانوسیلیس



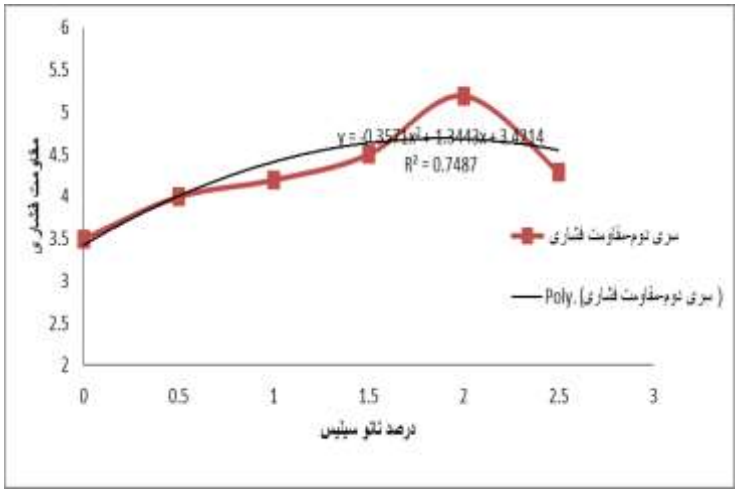
شکل ۶- مقاومت فشاری خاک ماسه ای در درصدهای مختلف افزودنی نانوسیلیس



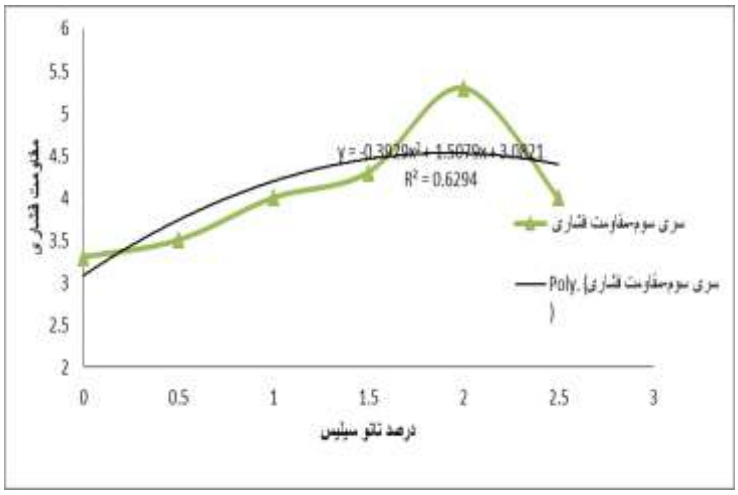
شکل ۷- مقایسه سه سری مقاومت فشاری خاک ماسه ای در درصدهای مختلف افزودنی نانوسیلیس



شکل ۸- رابطه تخمینی بین درصد نانوسیلیس و مقاومت فشاری خاک ماسه ای



شکل ۹- رابطه تخمینی بین درصد نانوسیلیس و مقاومت فشاری خاک ماسه ای



شکل ۱۰- رابطه تخمینی بین درصد نانوسیلیس و مقاومت فشاری خاک ماسه ای

۵. نتیجه گیری

کاربرد مواد در مقیاس نانو در علم ژئوتکنیک به دلایل مختلف از جمله پیچیدگی‌های آن و نگاه ماکروسکوپی محققین ژئوتکنیک، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به محدودیت‌های تحقیق، در این مقاله اثر نانوسیلیس بر روی خواص مقاومتی سه نوع خاک با درصدهای مختلف ماسه و رس با استفاده از آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری مورد ارزیابی قرار گرفته است و با انجام مطالعات آزمایشگاهی و بررسی‌های ریزساختاری سعی در گسترش تحقیقات در این حوزه شده است. با توجه به نتایج تحقیق مشخص گردید که گردید که با اضافه نمودن نانوکربنات کلسیم به همه نمونه‌ها، مقاومت حداکثر نمونه‌ها افزایش یافته است، همچنین با اضافه نمودن نانوسلیس روند تغییرات کرنش گسیختگی برای خاک سری اول نسبت به خاک‌های دیگر بیشتر شده است. در نمونه‌های خاک سری دوم به دلیل اینکه خاک رسی بیشترین مشارکت را در پر نمودن فضای خالی موجود بین دانه‌های ماسه داشته و موجب فاصله گرفتن دانه‌ها از یکدیگر نشده است، کمترین تأثیر منفی را بر روی اصطکاک بین دانه‌ای خاک گذاشته و بیشترین مقاومت را از خود نشان می‌دهد. لذا با توجه به مصالب بیان شده می توان نتیجه گرفت:

۱-درصد افزودنی نانوسیلیس جهت مقاومت فشاری بهینه در خاک‌های ماسه‌ای شهرستان شبستر حدود ۲ درصد تعیین گردید.

۲- مقایسهٔ سه سری مقاومت فشاری خاک ماسه‌ای در درصدهای مختلف افزودنی نانوسیلیس حداقل مقاومت را حدود ۳ نشان می دهد.

۳- مقایسه سه سری مقاومت فشاری خاک ماسه‌ای در درصدهای مختلف افزودنی نانوسیلیس حداکثر مقاومت را حدود ۵/۵ نشان می‌دهد.

۴- استفاده از نانوسیلیس به عنوان یک افزودنی مناسب و کارا در فرآیندهای مقاوم سازی توصیه می‌گردد.

منابع

[1] Changizi. F., Haddad. A. 2016. ″Effect of Nano composite on the Strength Parameters of Soil.″ KSCE Journal of Civil Engineering; 1-11.

[2] Consoli, N. C, Vendruscolo, M. A, Fonini, A, and Rosa. F. D. 2009. ″Fiber reinforcement effects on sand considering a wide cementation range.″ Geotextiles and Geomembranes, 3(27), 196-203.

[3] Handy, R. L.1960. ″Chemical treatments for Surface Hardening of Soil-Cement and Soil –Lime-Fly Ash.″ Highway Research Board Bulletin; 49-66.

[4] Zhang, G, Germaine J. T, Whittle A. J., and Ladd, C. 2004. ″Index properties of a highly weathered old alluvium.″ Geotechnique;451-7:441

[5] Gallagher, P. M., Finstere, S.2004. ″Physical and numerical model of colloidal silica injection for passive site stabilization.″ Vadose Zone Journal; 917-925.

[6] Butron, C, Axelsson. M and Gustafson G. 2009. ″Silica sol for rock grouting: Laboratory testing of strength fracture behavior and hydraulic conductivity.″ Tunneling and underground space technology;603-607.

[7] Changizi. F., Haddad. A. 2015. ″Strength properties of soft clay treated with mixture of nano-SiO_2 and recycled polyester fiber.″ Journal of rock mechanics and geotechnical engineering; 367-373.

[8] Taha, M. R., and Taha O. M. E. 2012. ″Influence of nano material on the expansive and shrinkage soil behavior.″ J. Nano part Res; 14:1190

[9] Khalid, N, Arshad M. F, Mukri, M, Mohamad, K, and Kamarudin, F. 2014. ″The Properties of Nano Kaolin Mixed with Kaolin.″ Electronic Journal of Geotechnical Engineering; 4255-19:4247.

[10] Azzam, W. R. 2014. ″Durability of Expansive Soil Using Advanced Nano composite Stabilization.″ Int. J. of Geomate; Vol. 937-7:927.

[11] Choobbasti, A. J, and Kutanaei S. S. 2015. ″Effects of Nanosilica Particles and Randomly Distributed Fibers on the Ultrasonic Pulse Velocity and Mechanical Properties of Cemented Sand.″111-116. Open Eng.

[12] Abdulla, A. S. H., Ahmed S. A. 2016.″ Enhancement of the Strength and Swelling Characteristics of Expansive Clayey Soil Using Nano-Clay Material.″ Geo-Chicago GSP; 269: 451-457.

[13] Eswaramoorthi. P., Senthil Kumar. V., Sachin Prabhu. P., Prabu. T and Lavanya. S. 2017. ″Influence of nanosized silica and lime particles on the behavior of soil.″ International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) pp. 353-360.

[14] Yao, K, Wang, W, Li N, Zhang C, Wang, L. 2019. ″ Investigation on strength and Microstructure characteristics of Nano-Mgo admixed with cemented soft soil.″ Construction and Building Materials,160-168.
[15] Kalhor, A, Ghazavi, M, Roustaei M, Mirhosseini, S. M0. 2019. ″Influence of nano-SiO2 on geotechnical properties of fine soils subjected to freeze-thaw cycles.″ Cold Regions Science and Technology, coldregions;03.011
[16] Karimi Azar, J, Heshmati, AA, Isazadefar, N. 2018. ″Investigation on the strength of Tabriz clay stabilized with nan- osilica″. Nationl conference of Civil, Architecture and Urban Development Conference of Muslim World Countries, Tabriz, Iran.
[17] Tomar, A, Sharma, T, Singh, S. 2020. ″Strength properties and durability of clay soil treated with mixture of nano silica and Polypropylene fiber″. Materials Today: Proceedings, Volume 26, Part 3.
[18] Kulanthaivel, P, Soundara, B, Velmurugan, Naveenraj, S. 2020. ″Experimental investigation on stabilization of clay soil using nano-materials and white cement.″ Materials Today: Proceedings
[19] Ghorbani, A., and Mohammadi. M. 2013. ″Investigation of consolidation properties of silty-clay soil with lime as an additive.″ Master thesis in geotechnical engineering, (in Persian).