

بررسی تاثیرات نانو کامپوزیت‌ها در مهندسی ژئوتکنیک

محسن زاهدی^۱، محمد شریفی پور^۱، فرزاد جهانبخشی^۲، رامین بیات^۳

۱- گروه عمران، دانشگاه رازی کرمانشاه

۲- گروه عمران- ژئوتکنیک، دانشگاه رازی کرمانشاه

۳- گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه

چکیده

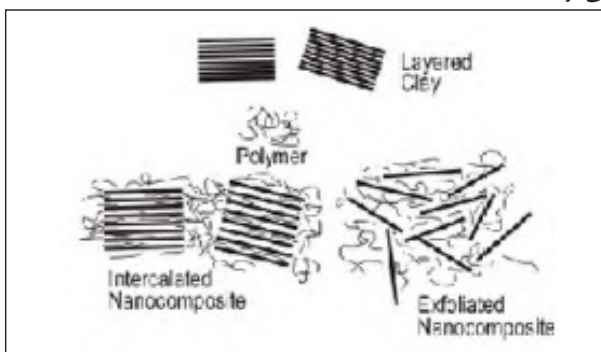
تثبیت و اصلاح رفتار خاک به کمک افزودنی‌ها به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در بهبود بسیاری از پارامترهای رفتاری خاک همواره مدنظر پژوهشگران در مهندسی ژئوتکنیک بوده است. از جمله افزودنی‌های نوین در مهندسی عمران می‌توان به نانو کامپوزیت‌ها اشاره کرد که موجب ارتقای خواص مکانیکی خاک شده است. در این مقاله به بررسی نانو کامپوزیت‌ها و پژوهش‌های انجام گرفته در رابطه با انواع مختلف این افزودنی در مهندسی ژئوتکنیک در داخل و خارج کشور پرداخته می‌شود که نتایج آزمایش‌های مختلف دال بر اثرات مثبت و بهبودی نانو کامپوزیت‌ها بر خواص مکانیکی خاکها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نانو کامپوزیت، خاک، اصلاح، ژئوتکنیک

zahedi@razi.ac.ir

۱- مقدمه

آلی بین لایه‌های رس نفوذ می‌کند ولی فاصله آنها فقط مقدار کمی افزایش می‌یابد و همچنان به موازات هم باقی خواهند ماند. در حالت ورقه‌ای لایه‌های رسی کاملاً از هم جدا شده و تک لایه‌ها در ماتریس ماده آلی توزیع می‌شوند. در حالت دیگر ذرات رس می‌توانند در ماتریس پلیمری توزیع شوند ولی در این حالت فقط نقش پرکننده را بازی می‌کنند. از دیدگاه دیگر مرحله نهایی در ساختن نانو کامپوزیت‌های خاک رس / پلیمر، جدا کردن لایه‌های رسی و پخش آن در پلیمر می‌باشد. استراتژی کار بستگی دارد به سازگاری و همگون بودن رس و پلیمری که استفاده می‌شود. این تعیین می‌کند که آیا نیاز به عملیات مقدماتی روی خاک رس یا پلیمر قبل از مخلوط کردن هست یا نه. اگر سطح لایه‌های سلیکاتی با پلیمر، سازگار و همگون باشد، اختلاط مستقیم بین این دو می‌تواند اتفاق بیفتد، بدون اینکه نیاز به عملیات مقدماتی باشد. چنین مواردی بیشتر وقتی اتفاق می‌افتد که از پلیمر قابل حل در آب، مانند OEP یا OVO استفاده کنیم. چرا که این پلیمرها و سطح لایه‌های سلیکات هر دو آبدوست هستند و نیروهای دوقطبی یا واندروالسی بین لایه‌های سلیکات، باعث سهولت جذب مولکولهای آبدوست و ایجاد فشارهای عمودی روی لایه می‌شود که در نتیجه باعث جدا کردن تک تک لایه‌های رسی در این پلیمرها می‌گردد.



شکل ۱- ترکیب نانو کامپوزیت‌ها بر پایه رس

اما به هر حال، بیشتر پلیمرها آب‌گریز و در نتیجه با دانه‌های رسی آبدوست، ناسازگار هستند. در این موارد نیاز به یکسری عملیات مقدماتی روی خاک رس یا پلیمر داریم. پرکاربردترین روش‌های برای اصلاح دانه‌های رسی، استفاده از آمینو اسیدها، نمک‌های آمونیوم آلی و یا فسفونیم تترا ارگانیک‌هاست تا سطح آبدوست رس‌ها را به آبگریز تبدیل کنیم. دانه‌های رسی که به این روش اصلاح می‌شوند، ارگانو کلی نامیده می‌شوند.

نانو تکنولوژی در لغت به معنی تکنولوژی بسیار کوچک می‌باشد. نانو تکنولوژی در حقیقت توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با در دست گرفتن کنترل در سطوحی مولکولی و اتمی و استفاده از خواصی است که در آن سطوح ظاهر می‌شود.

با تولید ساختارهایی در قیاس نانو امکان کنترل خواص ذاتی مواد از جمله دمای ذوب خواص مغناطیسی ظرفیت باربری و حتی رنگ مواد بدون تغییر در ترکیب شیمیایی به وجود می‌آید. استفاده از این پتانسیل به محصولات و تکنولوژی‌های جدید با کارایی بالا منتهی می‌شود که بیش از این میسر نبود ساختارهایی در مقیاس نانو مانند نانو ذرات و نانو لوله‌ها دارای نسبت سطح به حجم بالایی هستند که آنها را برای استفاده در مواد کامپوزیت، واکنش‌های شیمیایی و ذخیره انرژی ایده‌آل می‌سازد. موضوع فناوری نانو برای اولین بار حدود ۴۰ سال پیش مطرح شد و از آن زمان به بعد دانشمندان گوناگونی بر روی آن مطالعه کرده‌اند اما در نهایت ریچارد فاینمن توانست نظر و منطبق خود را بازگو کند و جهان روندی به سوی کوچک شدن در پیش گیرد. به طور کلی عصر جدید با شناخت یک ماده مشخص بوجود نمی‌آید بلکه با بهینه کردن و مشارکت دادن ترکیبی از چند ماده بوجود خواهد آمد.

۲- نانو کامپوزیت‌های خاک رس / پلیمر

نانو کامپوزیت‌های خاک رس بهبود فوق العاده‌ای در بسیاری از خواص فیزیکی و مهندسی پلیمرهایی که در آنها از مقدار کمی پرکننده استفاده می‌شود، ایجاد می‌کند. متغیرهای مهم و تاثیر گذار بر خواص این نانو کامپوزیت‌ها عبارتند از: نوع رس، انتخاب نوع عملیات اولیه بر روی خاک رس، انتخاب پلیمر و روش به کاربردن پلیمر در ساخت نانو کامپوزیت، فاکتور آخری متاثر از فرایند ساخت و یا توجه به نوع کاربری استفاده کننده می‌باشد. به بیان دیگر کامپوزیت‌هایی پلیمری به علت خواصی مانند استحکام، سفتی و پایداری حرارتی و ابعادی، چندین سال است که در ساخت هواپیماها به کار می‌رود. با ظهور و به کار گرفتن نانو تکنولوژی کامپوزیت‌های پلیمری بسیار جذاب‌تر خواهند شد.

۱-۲- روش‌های تهیه نانو کامپوزیت‌های بر پایه رس

انتخاب روش ساخت نانو کامپوزیت بستگی به نوع مخلوط مورد نیاز دارد. رس می‌تواند بصورت (مجتمع) یا بصورت ورقه‌ای توزیع شود. در حالت اول ماده

۲-۲- کاربردهای نانو کامپوزیت‌های خاک رس / پلیمر

نانو کامپوزیت‌های خاک رس / پلیمر در صنایع مختلف از جمله صنایع ماشین سازی کاربرد دارد. برای مثال شرکتهای تویوتا و میتسوبیسی از نانو کامپوزیت‌های خاک رس / پلیمر بعنوان روکش نوار زمان‌سنج و همچنین بعنوان محافظ روی موتور G ID استفاده کرده‌اند.

۲-۳- مشکلات توسعه نانو کامپوزیت‌های خاک رس / پلیمر

یکی از مشکلات پیش رو مستقیماً بر می‌گردد به نگرانی در مورد تجاری سازی نانو تکنولوژی خاک رس / پلیمر، کمبود ارگانو کلی‌های پایدار در برابر گرما و نیز از نظر تجاری در دسترس، از موانع ثبت شده در این مسیر هستند. بیشتر ارگانو کلی‌ها در دسترس، از جایگزینی کاتیون فلزی درون ساختار رس، با نمک‌های آمونیاک آلی تهیه می‌شوند. این نمک‌های آمونیوم در مقابل گرما ناپایدارند و حتی در دماهای کمتر از ۱۷۰ درجه سانتیگراد از بین می‌روند. نوآوری‌هایی در جهت اصلاح رس‌های ابدوست با استفاده از پلیمرها و الیگومرهای چند عاملی انجام شده تا ارگانو کلی‌های پایدار در برابر گرما برای تولید نانو کامپوزیت‌های رس / پلیمر بسازند.

۳- کاربرد نانو کامپوزیت‌ها در مهندسی ژئوتکنیک

در سال ۲۰۱۱ ماجد و طاها به بررسی تأثیر رفتار مواد نانو بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی خاکهای نرم پرداختند. آنها در تحقیقات خود از ۳ نوع نانو مواد (نانو کلسیم و نانو منیزیم و نانو رس) استفاده کردند. آنها از مواد نانو با درصدهای ۰.۵ تا ۱ برای ساخت نمونه‌ها استفاده کردند. بر روی نمونه‌ها آزمایش‌های تک محوری و حدود اتربرگ انجام شد. نتایج بیانگر این مطلب بودند که با افزودن مواد نانو به نمونه‌ها حدود اتربرگ نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند و این در حالی است که مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند.

در سال ۱۹۹۲ یونکورا و میوا با استفاده از نانو سیلیس مقاومت فشاری نمونه‌های ماسه را افزایش دادند. همچنین در سال ۱۹۹۲ نول و همکاران به بررسی تأثیر نانو سیلیس بر رفتار تحکیمی و نفوذپذیری خاکهای چسبنده پرداختند. در سال ۲۰۰۵ گلگر به بررسی تأثیر نانو سیلیس بر روی چسبندگی و رفتار نمونه‌های ماسه‌ای تحت بارهای دینامیکی پرداخت. نتایج نشان دادند که با افزایش درصد نانو سیلیس مقدار چسبندگی افزایش پیدا می‌کند. در آمریکا در سال ۲۰۰۷ گلگر و همکاران به تحقیق بر روی تأثیر نانو ذرات بر روی نشست خاک ماسه‌ای بعد از بارهای زلزله با استفاده از آزمایش‌های دینامیکی نظیر سه محوری دینامیکی پرداختند.

نتایج نشان دادند که مقاومت خاک با زمان افزایش پیدا می‌کند و نمونه‌های نانو ذرات در مراحل اولیه شکل پذیر تر هستند و در مراحل پایانی بارگذاری وارد فاز الاستو پلاستیک می‌شوند. ژانگ در سال ۲۰۰۴ عنوان کرد که با افزودن نانو ذرات به خاک حدود اتربرگ خاک افزایش پیدا می‌کند. او همچنین در سال ۲۰۰۷ به بررسی اثر تحکیمی نانو ذرات در خاک پرداخت. نتایج تحقیقات او نشان داد که با افزودن نانو ذرات به خاک باعث افزایش ثابت تحکیم در نمونه‌ها می‌شود.

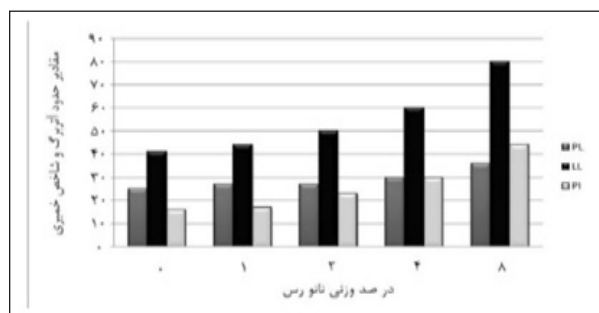
در سال ۲۰۱۲ پاتل به بررسی استفاده از نانو رس در ملاتهای سیمانی پرداخت. او نمونه‌های بدون نانو رس و حاوی ۱ و ۲ درصد نانو رس را تحت آزمایش فشاری و نفوذپذیری قرار داد. نتایج نشان داد که ثابت نفوذپذیری نمونه‌های حاوی ۱ درصد نانو رس ۱۵۰ درصد و نمونه‌های حاوی ۲ درصد نانو رس ۲۰۰ درصد بیشتر از نمونه‌های بدون نانو رس است. همچنین در شرایط یکسان نمونه‌های حاوی نانو رس زودتر خشک می‌شوند و از مقاومت فشاری بالاتری برخوردار هستند.

در سال ۲۰۱۲ طاها و ینگ به بررسی تأثیر نانو تیوب کربن بر روی خواص پایه‌ای ژئوتکنیکی کاتولین پرداختند. آنها بر روی نمونه‌های بدون نانو ذرات و با ۱ و ۲ درصد نانو ذرات آزمایش‌های اتربرگ و فشاری تک محوری را انجام دادند. آنها عنوان کردند که با افزودن نانو ذرات مقاومت فشاری تک محوری و حدود اتربرگ نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند.

در سال ۱۳۹۱ فخری و همکاران به بررسی تأثیر نانو رس بر خصوصیات ژئوتکنیکی پایه‌ای خاک رس با استفاده از آزمایش‌های حدود اتربرگ و تراکم استاندارد پرداختند.

خاک رس مورد استفاده در تحقیق آنها از نوع کائولینیت بود که طبق طبقه بندی یونیفاید از نوع CL بود. این نوع خاک دارای پلاستیسیته پایین است و به همین دلیل برای افزایش خصوصیات خمیری آن از درصد‌های مختلف نانو رس استفاده شد. آنها با استفاده از نانو رس مونت موریلونیت نمونه‌هایی حاوی ۰، ۱، ۲، ۴ و ۸ درصد نانو رس ساختند و مورد آزمایش قرار دادند (شکل ۱).

نتایج آزمایشات نشان دادند که افزودن نانو رس به دلیل افزایش سطح ویژه نمونه‌ها و به تبع آن افزایش بار الکتریکی باعث افزایش جذب آب و متعاقباً افزایش در پلاستیسیته نمونه‌ها می‌شود. با افزایش پلاستیسیته می‌توان انتظار داشت که نفوذپذیری نمونه‌ها نیز کاهش پیدا کند که این ویژگی‌ها در هسته‌های سدهای خاکی بسیار مطلوب و مورد انتظار است (جدول ۱).



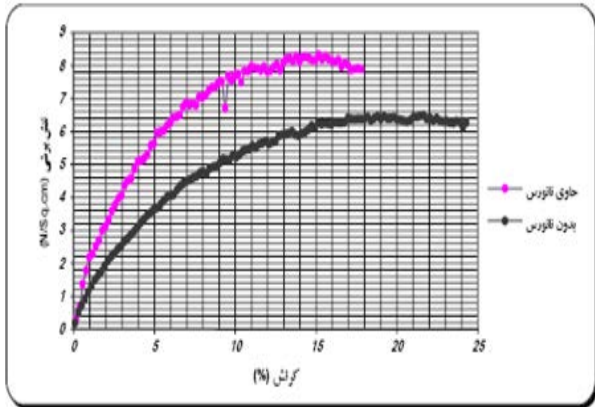
نمودار ۱- نمودار حدود اتربرگ و دامنه خمیری کائولینیت با درصد‌های مختلف نانو (فخری و همکاران ۱۳۹۱)

جدول ۱- نتایج آزمایش تراکم استاندارد (فخری و همکاران ۱۳۹۱)

درصد نانورس	رطوبت بهینه، %	حداکثر وزن مخصوص، gr/cm^3
۰	۵/۱۹	۶۶/۱
۱	۲۸/۱۹	۶۸/۱
۲	۱/۱۹	۶۸/۱
۴	۱۵/۲۰	۷/۱
۸	۱۹	۶۲/۱

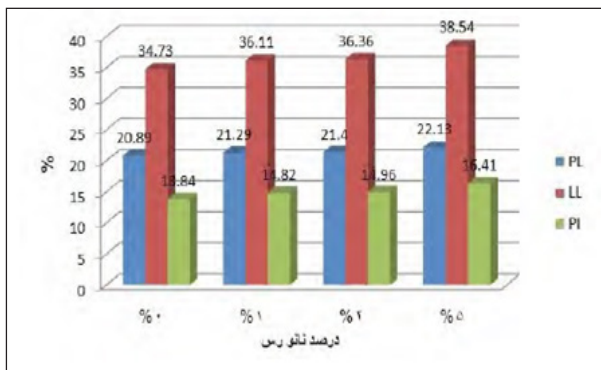
در سال ۱۳۹۱ اوحدی و امیری به بررسی قابلیت نانو رس‌ها در جذب آلاینده‌های زیست محیطی پرداختند. آنها در تحقیقات خود از دو نوع نانو رس تجاری کلوزایت استفاده کردند. نتایج آزمایشات آنها نشان داد که ترکیبات حاوی کلوزایت از میزان جذب آلاینده‌های بیشتری برخوردار است و همچنین حضور کربنات در کنار نانو رس می‌تواند این مقدار را نیز افزایش دهد (نمودار ۲).

رس لای دار رشت و همچنین نانو رس مونت موریلونیت استفاده کردند. برای آزمایش‌های حدود اتر برگ از درصد‌های ۱، ۲ و ۵ برای نانو رس و برای آزمایش تک محوری فشاری از ۰.۵ و ۱ درصد نانو رس استفاده کردند. آنها نتایج خود را اینگونه عنوان کردند:



نمودار ۴- تنش- کرنش مخلوط‌های خاک و نانو رس (گنجی و همکاران ۱۳۹۱)

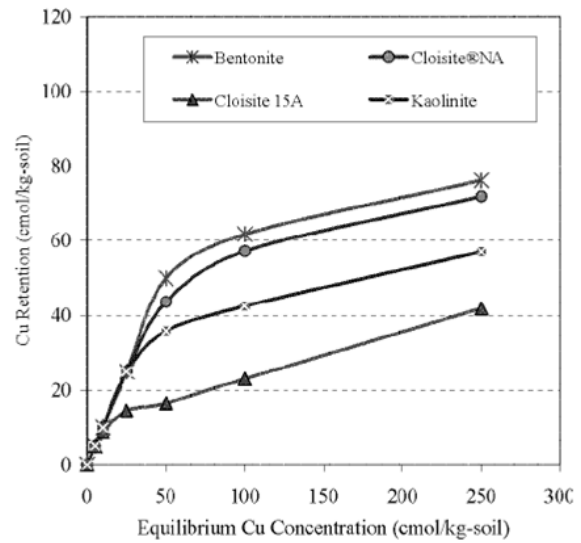
- با افزایش مقدار نانو رس، حد خمیری افزایش کمی در دو نوع خاک رس آزمایش شده نشان می‌دهد.
- با افزایش مقدار نانو رس در خاکهای چسبنده مورد آزمایش، حد روانی و دامنه خمیری افزایش چشمگیری می‌یابد.
- با افزایش مقدار نانو رس در خاکهای چسبنده مورد آزمایش، مقاومت تک محوری افزایش قابل ملاحظه‌ای از خود نشان می‌دهد.
- با افزایش مقدار نانو رس در خاکهای چسبنده مورد آزمایش، مقاومت در برابر تغییر شکل افزایش می‌یابد (نمودار ۵ و ۶).



نمودار ۵- حدود اتر برگ برای نمونه‌های مختلف کائولینیت (خسروانی و قربانی ۱۳۹۰)

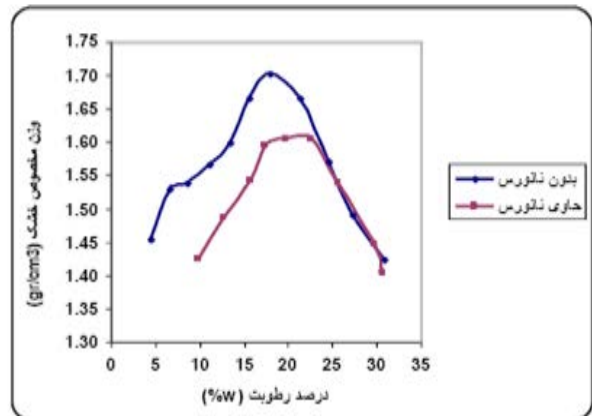
۴- نتیجه گیری

تثبیت و اصلاح رفتار خاک به کمک افزودنی‌ها به عنوان یکی از روشهای مؤثر در بهبود بسیاری از پارامترهای رفتاری خاک همواره مدنظر پژوهشگران در مهندسی ژئوتکنیک بوده است. نانو کامپوزیت‌های خاک رس بهبود فوق العاده‌ای در بسیاری از خواص فیزیکی و مهندسی پلیمرهایی که در آنها از مقدار کمی پر کننده استفاده می‌شود، ایجاد می‌کند. در سال‌های اخیر از انواع مختلف نانو کامپوزیت‌ها همچون نانورس، نانوسیلیس در مهندسی عمران، به خصوص مهندسی ژئوتکنیک استفاده‌ها بسیاری شده است که نتایج



نمودار ۲- بررسی میزان جذب آلاینده فلز سنگین مس (اوحدی و امیری ۱۳۹۱)

در سال ۱۳۹۱ گنجی و همکاران به بررسی تغییرات تنش برشی خاک قبل و بعد از به کار گیری نانو رس‌ها پرداختند. نمونه‌های آنها شامل خاک سیلتی رسی و نانو رس مونت موریلونیت بود و با استفاده از آزمایش‌های تراکم استاندارد و فشاری تک محوری به بررسی نمونه‌ها پرداختند. نتایج آزمایش تراکم استاندارد نشان داد که با افزودن نانو رس وزن مخصوص بهینه کاهش می‌یابد و این در حالی است که رطوبت بهینه افزایش پیدا می‌کند. همچنین تنش برشی خاک با افزودن نانو رس افزایش می‌یابد در حالی که زاویه شکست آن کاهش پیدا می‌کند (نمودارهای ۳ و ۴).



نمودار ۳- تراکم مخلوط‌های خاک و نانو رس (گنجی و همکاران ۱۳۹۱)

در سال ۱۳۹۰ غفاریپور و همکاران به بررسی تأثیر نانو رس بر مشخصات مکانیکی مخلوط اسفالت پرداختند. آنها ابتدا نمونه‌های حاوی نانو رس و بدون نانو رس را با استفاده از روش مارشال متراکم نموده و سپس با آزمایش‌هایی نظیر کشش غیر مستقیم، مدول برجهنگی، خزش دینامیکی و خستگی قطری مورد مطالعه قرار دادند. آنها عنوان کردند که افزودن اندکی نانو رس تأثیر قابل توجهی بر مشخصات رئولوژیکی قیر دارد و با تغییر در ساختار قیر و افزایش چسبندگی مقاومت کشش و انرژئی متناظر با گسیختگی را افزایش می‌دهد. در سال ۱۳۹۰ خسروانی و قربانی به بررسی تأثیر نانو رس بر خواص مهندسی خاکهای چسبنده پرداختند. آنها در تحقیق خود از رس کائولینیت تجاری و

آوری ریاست جمهور کمیته. مطالعات سیاست نانو تکنولوژی، ۱۳۸۰

۱۱. گنجی، ه. فضل اولی، ر. و نوروززاده، ا.، "بررسی تغییرات تنش برشی خاک قبل و بعد از به کارگیری نانو رس ها " نهمین کنگره بین المللی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اردیبهشت ۱۳۹۱.

12. A.M .Wilson ,N.H .Tran ,A.S .Milev ,G.S .Kamali Kannangara ,H .Volk ,G.Q .Max Lu” ,Nanomaterials in soils, “Geoderma2008) ,302–291 ,146).

13. American Physical Society. Eng Sci;23:22–36. (1960).

14. Bhushan, B., (2004). “Springer Handbook of Nanotechnology”, Springer 2004, pp: 1222.

15. C. Butrón: Silica sol for rock grouting, “Laboratory testing of strength, fracture behavior and hydraulic conductivity”, Tunnelling and Underground Space Technology, Pages 603-607, (2009).

16. D. Sarid, “Exploring Scanning probe Microscopy with the Mathematica”, university of Arizona (1997).

17. D.B. Williams, C. B. Carter, “Transmission electron microscopy”, materials science, Second edition (2009).

18. Dai,H., “Nanotube Growth and cterization” in Carbon Nanotubes: sythesis, structure, properties and Applications, ms. Dressel have, Bergin 2001.

19. Dermatas D., Meng X. G., “Utilizaion of fly ash for stabilization/solidification of heavy metalcontaminated soils”, Engineering Geology 70, pp: 377-394, 2003.

20. Elliott, H. A., Liberati, M. R., Huang, C. P., (1986). “Competitive adsorption of heavy metals by soils.”Journal of Environmental Quality 15, pp. 214–219.

21. Engines of Creation / K. Eric Drexler, An chor books editions, U.S.A,1990.

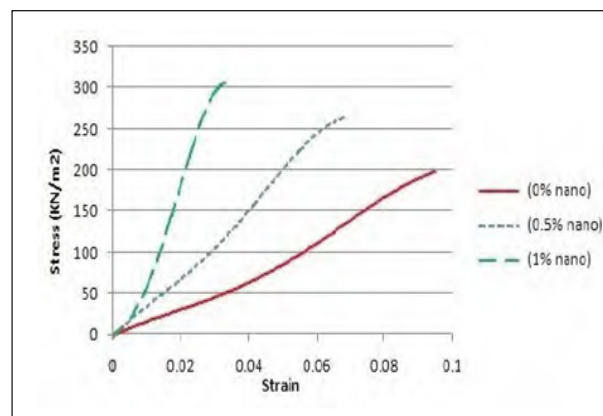
22. G. Kollensperger, G. Friedbacher, A. Krammer, “Application of atomic force microscopy to particle sizing”, Fresenius’ Journal of Analytical Chemistry 363 (4) 323– 332. (1999).

23. G. Zhang, J. T.Germaine, A. J. Whittle, C. Ladd, “Index properties of a highly weathered old alluvium”. Geotechnique 54, No. 7, 441-451,(2004).

24. Guoping Zhang, Member, Geo-Institute, “Soil Nanoparticles And Their Influence On Engineering Properties Of Soils”.(2007).

25. H. Ghazi, M.H. Baziar, S.M. Mirkazemi, “The effects of nano-material additives on the basic properties of soil”, 14th Asian regional conf. of geotechnic, Hong-Kong, May 2011.

آزمایش‌های مختلف همانند حدود اتربرگ، مقاومت تک محوری و... نشان دهنده اثرات مثبت و بهبودی این نانوافزودنی بر خواص مکانیکی خاک‌ها و سازه‌های ژئوتکنیکی بوده است.



نمودار ۶ - نتایج آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده برای نمونه‌های مختلف کائولینیت (خسروانی و قربانی ۱۳۹۰)

منابع

۱. اوحدی، و. و امیری، م.، "قابلیت نانو رس‌ها در جذب آلاینده های زیست محیطی با نگرش ویژه به فرایند نگهداشت آلاینده " نهمین کنگره بین المللی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اردیبهشت ۱۳۹۱.

۲. برنامه پیشگامی نوتکنولوژی، پیش بسوی انقلاب صنعتی بعدی، گزارش از گروه کاری فرابخش در. علوم، تهران آتنا، ۱۳۸۰

۳. حسین پور. پرپوش، کربن نانوتیوبها و کاربردشان در صنعت، ترجمه.

۴. خسروانی مقدم، ع. و قربانی، ع.، "بررسی اثر نانو رس بر خواص مهندسی خاکهای چسبنده" ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، اردیبهشت ۱۳۹۰.

۵. شریفی، ف. افتخارزاده. مالکی، ف. آزمند، ل(مترجمان). بوکر، ر. بويسن، (امولفان). "نانو فناوری برای همه" انتشارات دیبایه (۱۳۸۸).

۶. غفارپور، س. وثوق، ش. احمدی، ن. و عندلیبی زاده، ب.، "عملکرد نانو رس و کربنات کلسیم رسوبی بر مشخصات مکانیکی مخلوط آسفالتی " نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری- دانشکده فنی، دوره ۴۵، شماره ۳، شهریور ماه ۱۳۹۰.

۷. فخری، ز. پور حسینی، ر. و فخری، م.، "بررسی تأثیر نانو رس بر خصوصیات ژئوتکنیکی پایه ای خاک رس کائولینیت " نهمین کنگره بین المللی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اردیبهشت ۱۳۹۱.

۸. قاضی، ح. بازیار، م.ح. میرکاظمی، س.م.، "ارزیابی میزان بهبود در رفتار مقاومتی خاک در حضور افزودنیهای نانومقیاس " نشریه علمی- پژوهشی اساس، اسفند ۱۳۸۹.

۹. قاضی، ح. میرکاظمی، س.م. و بازیار، م.ح.، "بررسی تأثیر افزودنی نانو رس بر خواص پایه‌های مهندسی- ژئوتکنیکی خاک " چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی ژئوتکنیک، تهران، آبان ۱۳۸۹

۱۰. کتاب نانو تکنولوژی، آیینه تکنولوژی آفرینش، دفتر همکاریهای فن

34. Spedding, I., (2005). "Nanoclay- a new beginning for old products". Director, Acme Nano Products Pty.Ltd.
35. Dermatas, D and Meng, X.G. (2003), "Utilization of fly ash for stabilization /solidification of heavy metal contaminated soils," *Engineering Geology* 70, 377-394
36. Gutierrez, M.S., (2005), "Potential Applications of Nano-mechanics in Geotechnical Engineering," Proc of the International Workshop on Micro-Geomechanics across Multiple Strain Scales, Cambridge, UK, pp. 29,30
37. Naderi nia, Naeini, S.A., (2009), "The influence of polymer inclusion and plasticity index on the unconfined compression strength of clays," Proc. of the 2nd International Conf. on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Nicosia.
38. Daniels, J.M., Mehta, P., Vaden M., Sweem D., Mason M.D., Zavareh M., and Ogunro V., (2009), "Nano-Scale Organo-Silane Applications in Geotechnical and Geoenvironmental Engineering," *Journal of Terraspace Science and Engineering* 1(1): 21-30
26. Jacquet, D. "Sensitivity to remolding of some volcanic ash soils in New
27. Kalkan Ekrem, Akbulut Suat, "The positive effects of silica fume on the permeability, swelling, pressure and compressive strength of natural clay liners", *Engineering geology*, Elsevier, 2004.
28. Lines, M. G., (2008). "Nanomaterials for practical functional uses," *Focus on Powder Coatings*, 2008 (2).pp 1-3.
29. Lumsdon, D.G., Evans, L.J., Bolton, K.A., (1995). "The influence of pH and chloride on the retention of cadmium, lead, mercury and zinc by soils". *Journal of Soil Contamination* 4, 137-150.
30. Majed, Z.H. and Taha, M. R. " Effect Of Nanomaterial Treatment On Geotechnical Properties Of A Penang Soft Soil" *Journal of Asian Scientific Research* 2011(11):587-592.31. (2011).
31. Marzieh Kadivar, Kazem Barkhordari, Mehdi Kadivar, "Nanotechnology in Geotechnical Engineering", *Advanced Materials Research* Vols. 261-263, pp 524-528
32. Bhushan, B., (2004). "Springer Handbook of Nanotechnology", Springer 2004, pp: 1222.
33. Ouhadi, V.R., and Amiri, M., (2011), "Geo-environmental Behaviour of Nanoclays in Interaction with Heavy Metals Contaminant", *Amirkabir J, Civil*, 42, 3, pp 29-36.