



## ارزیابی تاثیر ذرات نانورس بر ویژگی‌های خاک‌ورزی خاک‌ها

هومن شریف نسب<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا گازر<sup>۱</sup>، نادر عباسی<sup>۱</sup>، کریم گرامی<sup>۲</sup>، محمد یونسی الموتی<sup>۱</sup>

۱- عضو هیات علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی hsharifnasab@yahoo.com

۲- پژوهشگر موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

### چکیده:

با توجه به محدودیت های ناشی از خاک ورزی سنتی و لزوم توجه به کشاورزی پایدار، کاربرد روشهای نوین خاک ورزی امری لازم و ضروری است. در این پژوهش به منظور بررسی چگونگی و میزان تاثیر ماده نانو رس بر مشخصات فیزیکی و مکانیکی موثر در خصوصیات خاک ورزی، برنامه آزمایشات و تیمارهای مختلف کاربرد نانو ذرات رس برای خرد و پودر کردن خاک مورد بررسی قرار گرفته است. بدین ترتیب با در نظر گرفتن سه نوع خاک با بافت مختلف (سبک، متوسط و سنگین) و ۲ سطح از ماده نانو رس شامل بدون ماده پلیمری و مقدار یک درصد از ماده نانو رس، به تعداد ۶ تیمار در ۳ تکرار مورد آزمایش های مختلف فیزیکی و مکانیکی شامل دانه بندی، حدود اتربرگ، تراکم و سه محوری قرار گرفتند. نتایج حاصل از بررسی های مختلف نشان داد افزودن ذرات نانو رس تاثیری در منحنی دانه بندی، حدود اتربرگ و مشخصات تراکمی نداشته است. لیکن کاربرد ذرات نانو رس موجب کاهش زیادی در میانگین مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی و به عبارت دیگر پارامترهای برشی خاک گردیده است. لذا می توان نتیجه گرفت افزایش نانو رس موجب کاهش مقاومت برشی گردیده و به تبع آن عملیات خاک ورزی در خاکهای تیمار شده راحت تر و با انرژی کمتری صورت می گیرد.

**کلمات کلیدی:** حدود اتربرگ، دانسیته خشک ماکزیمم، رطوبت بهینه، مقاومت برشی، نانو رس

### مقدمه

خاک ورزی به عنوان یک عملیات مکانیکی بر روی خاک جهت آماده سازی آن به کار می رود. در واقع عملیات خاک ورزی مناسب موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش خلل و فرج، توزیع بهتر خاکدانه ها و نهایتا اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک می شود. روشهای مختلف خاک ورزی تاثیر متفاوتی بر روی خصوصیات فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری، ضریب نفوذپذیری و شاخص نفوذ دارد. استفاده از خاک ورزی مرسوم برای کلیه زراعتها سبب صرف هزینه های اضافی، بیش خاک ورزی و در نهایت بخاطر یکنواختی عمق شخم در طی سالیان متمادی سبب تشکیل لایه سخت می گردد. امروزه برای پیشگیری از مشکلات ناشی از خاک ورزی سنتی، رویکردهای جدیدی نظیر؛ بی خاک ورزی، کم خاک ورزی و استفاده از مواد افزودنی برای تغییر ساختمان و خواص فیزیکی خاک مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا و با توجه به پیشرفت های حاصل در علم نانو، استفاده از نانو فناوری در علوم مختلف کشاورزی و کاربرد آن در مباحث خاک ورزی و اصلاح ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی نیز



رشد چشمگیری داشته است. فناوری نانو شامل تمام فناوری های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو می باشد که اولین بار در سال ۱۹۵۹ توسط ریچارد فایمن طی یک سخنرانی با عنوان (فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد) مطرح گردید (۲ بی نام ، ۸۹). معمول ترین عناصر در این علم و فناوری، نانوذرات می باشند که خواص آنها باعث گردیده است کاربردهای بسیار متنوعی در صنایع شیمیایی، پزشکی و دارویی، الکترونیک و کشاورزی داشته باشند (W. Zhang, 2005). با توجه به ترکیب شیمیایی، این ذرات را به نوع فلزی، سرامیک پلیمری و نیمه هادی تقسیم می کنند. نانو ذرات سرامیکی به سرامیک های اکسید فلزی نظیر اکسیدهای تیتانیوم، روی، آلومینیوم و آهن و نانو ذرات سیلیکاتی، که عموماً به شکل ذرات نانو رس تقسیم می شود ( Jose Feneque, 2003). نانورس یکی از دستاوردهای فناوری نانو است که در سالهای اخیر همچون رس، در صنایع متفاوتی مورد استفاده قرار گرفته است و کاربردهای زیادی را در بین علوم مختلف پیدا کرده است. این ماده دارای پایه معدنی است و می تواند باعث بهبود برخی خواص خاک گردد. علاوه بر اینها در ساختار پلیمرها نیز نانو ذرات رس نقش مهمی را ایفا می کند. برای نانو ذرات رس خواص و کاربردهای بیشتری را نیز می توان بیان کرد. خاک ورزی صحیح، جلوگیری از فرسایش، تصفیه خاک از آلاینده ها و همچنین غنی سازی خاک نمونه هایی از کاربرد فناوری نانو در خاکشناسی است. در سال ۲۰۰۳ در برخی از مناطق نیومکزیکو و کالیفرنیا برای جلوگیری از فرسایش خاک پس از آتش سوزی جنگل ها از پروژه ای به نام Soil Set استفاده شد. در طی این پروژه برای اتصال ذرات خاک به همدیگر از نانو ذرات استفاده می شود که باعث پیوستن ذرات به همدیگر و در نتیجه از فرسایش این خاک ها جلوگیری می کند (۱ بی نام ، ۸۹). اکسیدهای آهن آمورف و فری هیدراتها، مخصوصاً در pH قلیایی مانند خاکهای کربناتی حلالیت آهن در خاک را به مقدار زیاد کنترل می کنند. pH خاک ، کانیهای حاوی آهن در خاک را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. حلالیت آهن ۳ به ازای هر واحد افزایش در pH معادل ۱۰۰۰ برابر کاهش یافته و غیر قابل دسترس می شود. گئوتایت ، هماتیت و فری هیدرات به صورت نانوذره اجزاء مهم خاک، رسوبات و جریانهای زهکشی می باشند. این ذرات یک ظرفیت جذب برای فلزاتی مانند آرسنیک، و کرومیوم در سرب و جیوه و سلیسیم دارند. خصوصیات فیزیکی خاک نیز تا حدودی تحت تاثیر مقدار معینی اکسید آهن بوده که باعث افزایش پایداری خاکدانه می شوند (۲ بی نام ، ۸۹). به طور کلی میکروارگانیسم های خاک نقش مهمی در افزایش قابل دسترسی آهن و جذب توسط گیاه دارند. افزایش ماده آلی در سطح خاک فرمهای کم محلول آهن را به فرمهای قابل دسترس تبدیل می کنند و فرایندهای اکسیداسیون و احیاء احتمالاً بر مکانیسم این تبدیل موثرند. استفاده از سیستم بی خاک ورزی سبب افزایش آهن در فرکشن آلی و قابل تبدیلی می شود (۲ بی نام ، ۸۹). با داشتن فناوری کنترل و ساخت نانو ذرات می توان با تغییر ساختارهای بنیادی ذرات، ذرات جدید را به وجود آورد و از آنها استفاده کرد (رحیمی، ۷۱). نانو مواد را تا وقتی که فشرده و متراکم نشده باشند نانو پودر می نامند. برای تجزیه نانو پودرها اندازه آنها در حداقل یک بعد باید در محدوده کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشند. اهمیت نانو ذرات به خاطر افزایش سطح ویژه و سرعت واکنش بالا و واکنش پذیری در دمای پایین می باشد (۳ بی نام ، ۸۹). هیدروژلها یا مواد پلیمری سوپر جاذب مواد اصلاح کننده ی جدیدی هستند که به تازگی به طور وسیعی در دنیا کاربرد دارند. این سوپر جاذبها می توانند چندین برابر وزن خشک خود آب جذب کنند که در مصارف پزشکی و



شیمیایی و کشاورزی کاربرد فراوان دارند (سادات نوری و خدایاری، ۸۴). در حال حاضر در کشور هندوستان تحقیقی آغاز شده است که در نظر دارد میزان تاثیر موادی حاوی ذرات نانو آهن و نانو فسفر و نانو روی بر خاکهای خشک را مورد بررسی قرار دهد (D.Bhattachryya et al. , 2004).

با عنایت به موارد عنوان شده ملاحظه می گردد در خصوص تاثیر مواد نانویی بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک، تحقیقات کافی صورت نگرفته است. در این پژوهش تاثیر یک ماده نانویی با نام نانورس بر برخی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک شامل دانه بندی، حدود آتربرگ، مشخصات تراکمی و پارامترهای برشی خاک مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی تاثیر ماده نانو رس بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک طی مدت ۲ سال در محل آزمایشگاه دینامیک خاک (soilbin) موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد.

### شناسایی و تهیه نمونه های خاک

در ارزیابی تأثیر ماده نانو رس بر خواص خاک ها، یکی از سئوالات اساسی تعیین چگونگی تاثیر این ماده بر روی بافت های مختلف خاک است. لذا در انتخاب نمونه خاک‌ها سعی گردید از بافت های مختلف خاک استفاده گردد. بر این اساس سه نوع خاک شامل خاک با بافت سبک، خاک با بافت متوسط و نمونه خاک با بافت سنگین رسی مد نظر قرار گرفت. بدین منظور ابتدا با انجام بررسی های لازم و نمونه گیری های متعدد از مناطق مختلف، اقدامات اولیه در خصوص تعیین محل نمونه برداری صورت پذیرفت و چند نمونه از مکانهای مختلف جهت تشخیص بافت تهیه گردید. در نهایت با توجه به انجام آزمایشهای اولیه خاکهای با بافت مورد نظر انتخاب و سه محل از استان البرز برای تهیه نمونه با بافت های یاد شده انتخاب شدند. سپس از مناطق تعیین شده نمونه به میزان مورد نظر برداشت و به آزمایشگاه موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (محل انجام پژوهش) منتقل گردید.

### تهیه مواد نانورس

ماده مورد بررسی و استفاده در این تحقیق، نانو رس است. این ماده دارای پایه معدنی است و می تواند باعث بهبود برخی خواص خاک گردد. علاوه بر این‌ها در ساختار پلیمرها نیز نانو ذرات رس نقش مهمی را ایفا می کند. برای نانو ذرات رس خواص و کاربردهای بیشتری را نیز می توان بیان کرد. ماده نانو رس مورد استفاده در این پژوهش توسط بخش خصوصی و پیشنهاد دهنده تحقیق در اختیار قرار گرفته است. این ماده در بسته های کوچک در دسترس است.

### تهیه نمونه های آزمایشی

برای بررسی چگونگی و میزان تاثیر ماده نانو رس بر مشخصات فیزیکی و مکانیکی، برنامه آزمایشات و تیمارهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب با در نظر گرفتن سه نوع خاک با بافت مختلف (سبک، متوسط و سنگین) و ۲ سطح از ماده نانو



رس شامل بدون ماده پلیمری و مقدار یک درصد از ماده نانو رس، به تعداد ۶ تیمار در ۳ تکرار مورد آزمایش های مختلف فیزیکی و مکانیکی قرار گرفتند.

نمونه‌های آزمایشی با افزودن ماده نانو رس به میزان معین به خاک تهیه می گردد. مبنای تهیه نمونه‌ها، افزودن وزن معینی از ماده خشک در واحد حجم است. از آنجائیکه در عمل افزودن ماده بصورت محلول و با عمل پاشش در سطح خاک و با فرض نفوذ محلول تا عمق حدود ۳۰ سانتیمتری صورت می گیرد، در آزمایشگاه برای تهیه نمونه های آزمایشی با احتساب وزن مخصوص ظاهری و غلظت ماده، حجم محلول مورد نیاز برای وزن مشخصی از خاک تعیین و اضافه می گردد. بدین منظور وزن نمونه خاک هر تیمار و ماده نانو رس مربوطه محاسبه و پس از اختلاط در جعبه های مخصوصی نگهداری می شود. شکل شماره ۱ نمونه های ساخته شده و تیمارهای مورد بررسی را نشان می دهد.



شکل ۱: جعبه های تیمار خاک و نانو رس

### انجام آزمایش‌های مختلف فیزیکی، و مکانیکی

به منظور بررسی اثر ماده نانو رس بر مشخصات خاک‌ها، مطابق تیمارهای ذکر شده نمونه های آزمایشی در سه تکرار تهیه و آزمایش‌های مختلف فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی به شرح زیر و براساس استاندارد ASTM روی کلیه نمونه های آزمایشی انجام گرفت.

### دانه بندی خاک

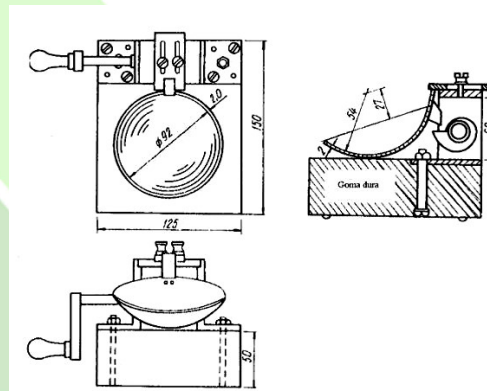
دانه بندی عبارتست از تجزیه مکانیکی (جداسازی) ذرات خاک به قسمت های مختلف بطوریکه هر قسمت بصورت درصدی از کل بیان شود. بسیاری از مشخصات خاک با مشخص شدن دانه بندی قابل تخمین و تشخیص هستند. برای نشان دادن دانه‌بندی خاک از منحنی دانه‌بندی استفاده می‌شود. برای ترسیم منحنی دانه‌بندی خاک با توجه به اندازه ذرات دو مرحله وجود دارد. مرحله اول دانه‌بندی با الک یا آزمایش دانه‌بندی مکانیکی که مخصوص بخشی از ذرات خاک است که قطر آنها بزرگتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر



می‌باشد. مرحله دوم دانه‌بندی مربوط به بخش کوچکتر از  $0.075$  میلی‌متر است که با استفاده از روش به روش هیدرومتری انجام می‌شود. در این پژوهش دانه‌بندی نمونه‌ها به روشهای الک و هیدرومتری انجام شد. بدین صورت که ابتدا نمونه خاکها بر روی الک شماره ۲۰۰ شسته شده و ذرات درشت‌تر از  $0.075$  میلی‌متر خشک و مجدداً به روش الک خشک دانه‌بندی شدند. برای انجام آزمایش هیدرومتری، ۵۰ گرم خاک خشک شده از الک ۲۰۰ تهیه و مورد آزمایش هیدرومتری قرار گرفتند.

### تعیین حدود آتبرگ

حدود آتبرگ که شامل سه حد روانی (LL)، خمیری (PL) و انقباض (SL) است، معیاری برای ارزیابی رفتار خمیری و میزان چسبندگی ذرات ریزدانه خاک و به نوعی میزان و نوع ذرات ریزدانه موجود در خاک است. در این تحقیق تاثیر نانو رس بر حد روانی سه نوع خاک مورد بررسی قرار گرفته است. برای تعیین حد روانی معمولاً از جام کاساگراند استفاده می‌گردد. شکل ۲ دستگاه کاساگراند مورد استفاده و شماتیک قسمتهای مختلف آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲: دستگاه کاساگراند برای تعیین حد روانی خاکهای رسی

### مشخصات تراکمی خاک

دو شاخص دانسیته خشک ماکزیمم و رطوبت بهینه که مشخصات تراکمی خاک می‌باشند، از مهمترین ویژگیهای خاک در عملیات خاکی نظیر تراکم در پروژه‌های عمرانی است. در کاربردهای کشاورزی و به ویژه عملیات خاک ورزی نیز این دو شاخص از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. این دو پارامتر برای هر خاک با انجام آزمایش تراکم حاصل می‌شود. لذا در این پژوهش آزمایش تراکم بر روی نمونه‌های مورد نظر انجام گرفت دستگاه انجام آزمایش تراکم در شکل ۳ نشان داده شده است.





شکل ۳: انجام آزمایش تراکم استاندارد

### انجام آزمایش سه محوری

برای تعیین پارامترهای برشی خاک روشهای متعددی وجود دارند که دقیق ترین آنها آزمایش سه محوری است. آزمایش سه محوری خود به سه شکل آزمایش تحکیم یافته زهکشی شده، آزمایش تحکیم یافته زهکشی نشده (CU) و آزمایش تحکیم نیافته زهکشی نشده (UU) قابل انجام است. در این تحقیق از روش آزمایش تحکیم یافته زهکشی نشده (UU) استفاده شد. بدین ترتیب که ۱۸ آزمایش سه محوری بر روی تیمارهای مختلف انجام و سپس پارامترهای برشی نمونه ها ( $C, \phi$ ) به ازای تیمارهای مختلف تعیین و مورد مقایسه قرار گرفت. در شکل ۴ قسمتهای مختلف دستگاه سه محوری مورد استفاده، مراحل آماده سازی نمونه و انجام آزمایش سه محوری ارائه شده است.



ب) قرار دادن غشا بر روی استوانه



الف) نصب نمونه بر روی پایه



د) قرار دادن -رینگ بر روی کلاهک



ج) قرار دادن سلول سه محوری بر روی پایه

شکل ۴: دستگاه سه محوری مورد استفاده، مراحل آماده سازی نمونه و انجام آزمایش سه محوری

## نتایج و بحث

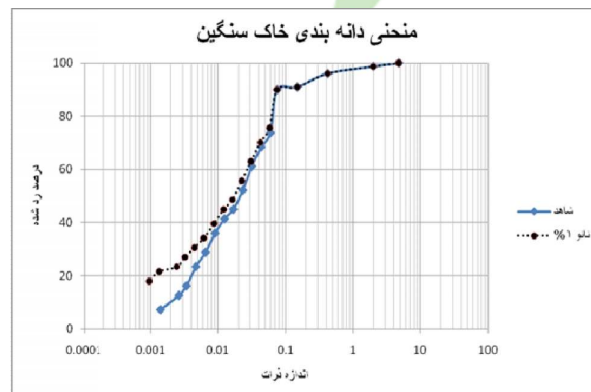
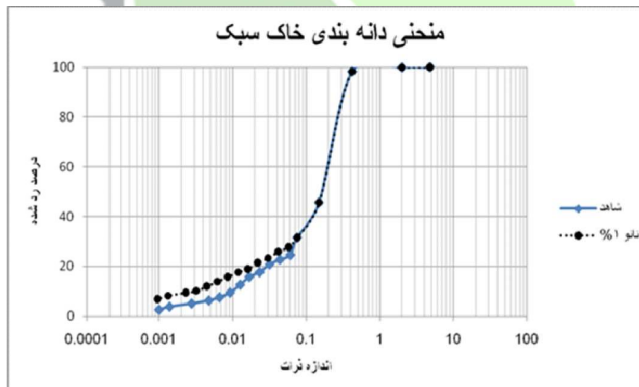
### تاثیر نانو رس بر دانه بندی و حدود آتربرگ

آزمایش دانه بندی ذرات ریز دانه نیز با استفاده از روش هیدرومتری بر روی تیمارها انجام شد که نتایج در قالب منحنی دانه بندی در شکل ۷ ارائه گردیده است. همانطوریکه از اشکال مذکور قابل ملاحظه است افزودن ذرات نانو رس تاثیری در منحنی دانه بندی نمونه ها نداشته است. همچنین به منظور تعیین تاثیر نانو رس بر خصوصیات خمیرایی خاک آزمایشهای حد روانی و حد خمیری بر روی تیمار انجام گرفت که نتایج بدست آمده از این آزمایشات به ازای تیمارها و تکرارهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور بررسی و ارزیابی میزان تاثیر نانو رس بر حد روانی و خمیری نمونه ها آنالیز آماری انجام گرفت که نتایج حاصل مطابق جدول ۲ ارائه شده اند. تجزیه واریانس بیانگر تاثیر معنی دار نوع خاک بر خصوصیات خمیرایی خاک است. همچنین نوع تیمار شاهد و یا کاربرد ماده نانو تاثیر معنی داری بر خصوصیات خمیرایی خاک نداشته است. اثر متقابل تیمار در حد خمیری و روانی نیز معنی دار بوده و در وضعیت‌های کاربرد تیمار نانو در حد روانی و عدم کاربرد تیمار نانو در حد روانی بیشتر از وضعیت کاربرد و عدم کاربرد تیمار نانو در حد خمیری بوده است.

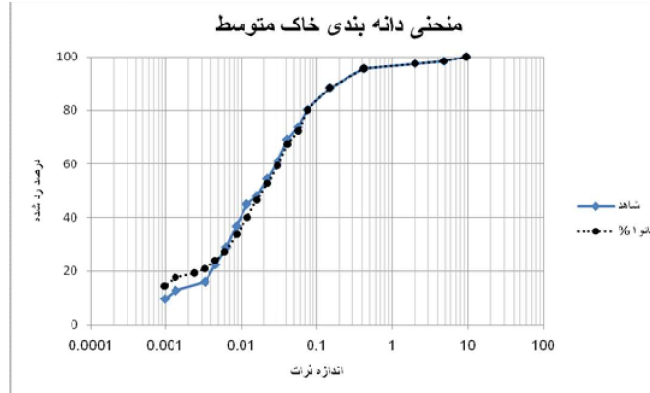


جدول ۱- نتایج آزمایش حدود آتربگ

خاک سبک				
شاهد		نانو ۱٪		
حد روانی	حد خمیری	حد روانی	حد خمیری	
۲۳/۱۱	NP	۲۱/۸۹	NP	تکرار ۱
خاک متوسط				
شاهد		نانو ۱٪		
حد روانی	حد خمیری	حد روانی	حد خمیری	
۳۲/۹۲	۲۰/۲۶	۳۲/۴۶	۲۲/۲۷	تکرار ۱
۳۳/۰۶	۱۸/۸۶	۳۱/۸۱	۲۲/۲۱	تکرار ۲
۳۴/۹۱	۱۹/۸۱	۳۱/۸۵	۲۰/۹۴	تکرار ۳
خاک سنگین				
شاهد		نانو ۱٪		
حد روانی	حد خمیری	حد روانی	حد خمیری	
۳۶/۲۷	۲۱/۴۳	۳۶/۲۷	۲۱/۴۳	تکرار ۱
۳۵/۸۱	۲۱/۷۹	۳۵/۱۲	۲۳/۰۰	تکرار ۲
۳۵/۳۲	۲۰/۶۳	۳۱/۷۲	۲۰/۲۲	تکرار ۳







شکل ۵: منحنی دانه بندی برای نمونه خاک سبک

جدول ۲- تجزیه واریانس برای حدود اتربرگ خاک

F	MS	df	SS	SOV
2.810ns	3.163	2	6.325	تکرار
185.617**	208.912	2	417.825	نوع خاک
.001ns	.001	1	.001	تیمار
885.635**	996.784	1	996.784	حد خمیری و روانی
.997ns	1.122	2	2.244	اثر متقابل نوع خاک در تیمار
3.236ns	3.643	1	3.643	اثر متقابل نوع خاک در حد خمیری روانی
9.896**	11.138	1	11.138	اثر متقابل تیمار در حد خمیری روانی
1.409ns	1.586	1	1.586	اثر متقابل نوع خاک در تیمار در حد خمیری روانی
	1.126 <sup>a</sup>	16	18.008	خطا

NS، \*، \*\* - به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و معنی دار در سطح ۱٪

### تاثیر نانورس بر مشخصات تراکمی

آزمایش تراکم نیز بر روی نمونه های مختلف با در نظر گرفتن تیمار و تکرارها انجام و منحنی تراکم مربوط به هریک از آنها ترسیم گردید. پس از ترسیم منحنی تراکم به ازای هر یک از تیمارها مقادیر رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم هریک از نمونه از منحنی های مربوطه استخراج شده که نتایج آنها در جدول ۳ ارائه شده است.



جدول ۳- مقادیر رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم نمونه ها

خاک سنگین		خاک متوسط				خاک سبک					
نانو	شاهد	نانو	شاهد	نانو	شاهد	نانو	شاهد				
$\gamma_d$	$W_p$	$\gamma_d$	$W_p$	$\gamma_d$	$W_p$	$\gamma_d$	$W_p$				
۱/۶۵	۱۷/۶۰	۱/۶۸	۱۸/۵۱	۱/۷۲	۱۴/۸۴	۱/۷۴	۱۴/۷۰	۱/۹۱	۱۴/۱۴	۱/۴۸	۱۵/۴۴

با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول ۳ ملاحظه می گردد افزودن ماده نانو رس تاثیر قابل ملاحظه در مشخصات تراکمی نداشته است.

### نتایج آزمایش سه محوری

مطابق روشهای ذکر شده در بخش قبلی آزمایش سه محوری UU بر روی نمونه ها انجام شد. بدین منظور ابتدا منحنی های تنش - کرنش نمودارهای تنش-کرنش نمونه ها به ازای مقادیر متفاوت تنش همه جانبه (kpa  $\sigma_3=100, \sigma_3=200, \sigma_3=300$ ) و به ازای هریک از نمونه ها ترسیم و بر اساس آنها مقدار اختلاف تنش ها ( $\Delta\sigma$ ) محاسبه گردید. سپس با توجه به مشخص بودن مقدار تنش جانبی ( $\sigma_3$ ) مقدار تنش محوری ( $\sigma_1$ ) محاسبه شد. بدین ترتیب با معلوم شدن تنشهای جانبی و محوری دواير موهر ترسیم و با توجه به آنها مقادیر چسبندگی C و زاویه اصطکاک داخلی  $\phi$  تعیین گردیدند. نتایج کلی اندازه های چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- مقادیر پارامترهای برشی نمونه های مورد آزمایش

خاک سنگین		خاک متوسط				خاک سبک						
نانو	شاهد	نانو	شاهد	نانو	شاهد	نانو	شاهد					
$\phi$	C	$\phi$	C	$\phi$	C	$\phi$	C					
۲۴/۸	۹۸/۲	۲۲/۹	۱۰۳/۲	۱۷/۶	۸۵/۹	۲۹/۲	۵۹/۹	۳۳/۱	۵/۵	۲۱/۷	۸۶/۸	تکرار ۱
۱۴/۲	۳۴/۵	۸۲/۱	۱۲۵/۳	۱۹/۹	۶۴/۶	۲۳/۲	۱۳۵/۰	۲۹/۹	۴۹/۵	۲۹/۶	۱۱۵/۲	تکرار ۲
۳۰/۲	۴۹/۰			۲۸/۹	۷۲/۹			۲۹	۹۶/۵			تکرار ۳

همچنین به منظور بررسی و ارزیابی میزان تاثیر نانو رس بر مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی نمونه ها آنالیز اماری انجام گرفت که نتایج حاصل مطابق جداول ۵ الی ۶ ارائه شده اند.



جدول ۵- میانگین C برای خاک شاهد و خاک تیمار شده با ذرات نانو

نوع تیمار	میانگین مقدار C
شاهد	104.260
تیمار نانو	67.482

جدول ۶- میانگین زاویه اصطکاک داخلی برای خاک شاهد و خاک تیمار شده با ذرات نانو

نوع تیمار	میانگین مقدار زاویه اصطکاک
شاهد	34.815
تیمار نانو	25.2167

با توجه به جداول ۵ و ۶ ملاحظه می‌گردد کاربرد ذرات نانو در خاک موجب کاهش زیادی در میانگین مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی گردیده است. این بدان معنی است افزایش نانو رس موجب کاهش پارامترهای برشی و در نتیجه مقاومت برشی خاک می‌گردد. این موضوع از نظر خاک ورزی بسیار حایز اهمیت است. کاهش چسبندگی ذرات خاک این امکان را فراهم می‌کند که کلوخه‌ها با انرژی کمتری خرد شوند.

### نتیجه گیری

بر اساس مجموعه نتایج حاصل از بررسی‌ها و آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش نتیجه گیری زیر قابل استنتاج است.

- افزودن ذرات نانو رس تأثیری در منحنی دانه بندی نمونه‌ها نداشته است.
- نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی دار نوع خاک بر خصوصیات خمیرایی خاک بود.
- اثر متقابل تیمار در حد خمیری و روانی نیز معنی دار بوده و در وضعیت‌های کاربرد تیمار نانو در حد روانی و عدم کاربرد تیمار نانو در حد بیشتر از وضعیت کاربرد و عدم کاربرد تیمار نانو در حد خمیری بوده است.
- با توجه نتایج بدست آمده مشخص گردید افزودن ماده نانو رس تأثیر قابل ملاحظه در مشخصات تراکمی نداشته است.
- کاربرد ذرات نانو در خاک موجب کاهش زیادی در میانگین مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی گردیده است.
- با توجه به اینکه افزایش نانو رس موجب کاهش پارامترهای برشی و در نتیجه مقاومت برشی خاک می‌گردد، عملیات خاک ورزی در خاک‌های تیمار شده راحت تر و با انرژی کمتری صورت می‌گیرد.

## منابع

- ۱- بی نام. (۱۳۸۹). مقاله کاربردهای نانو تکنولوژی قابل دسترس در [forum.p30word.com](http://forum.p30word.com)
- ۲- بی نام. (۱۳۸۹). مقاله Nanoclay development may benefit feeding قابل دسترس در [feedstuffs.com/story](http://feedstuffs.com/story)  
nanoclay development may benefit feeding (0 80876)
- ۳- بی نام. (۱۳۸۹). تثبیت خاک با استفاده از خاصیت نانو ذرات رس. قابل دسترس در [nano.ir](http://nano.ir)
- ۴- رحیمی، ح. (۱۳۷۱). مکانیک خاک . انتشارات قائم .
- ۵- سادات نوری، ا.، خدایاری، ا. (۱۳۸۴) . مقدمه ای بر نانو تکنولوژی. نورپردازان. فصل سوم کاربردهای نانو تکنولوژی در علم کشاورزی
- 6- Jose Feneque. 2003 available in: [nanotech-now.com/jose-Feneque/Veterinary-Applications-Nanotechnology.htm](http://nanotech-now.com/jose-Feneque/Veterinary-Applications-Nanotechnology.htm)
- 7- D.Bhattachryya, D.meyer, J.Xu, L.Bachas, 2004. Membrane based Nanostructure Metals for Reductive Degradation of Hazardous Organics at Room Temperature, Nanotechnology Grantee workshop
- 8- W. Zhang, 2005. Nanoscale Iron Particle for Environmental Remediation, Journl of Nanoparticle , Research 5. PP.323-332



## Effect of nanoclay particles on the properties of soil tillage

Hooman Sharifnasab<sup>1\*</sup>, Hamidreza Gazor<sup>1</sup>, Nader Abbasi<sup>1</sup>, Karim Gerami<sup>2</sup>, Mohammad unesi<sup>1</sup>

1-Member of Scientific board of AERI

hsharifnasab@yahoo.com

2-Resercher of AERI

### Abstract:

Due to limitations of conventional tillage and sustainable agriculture necessitates the use of modern methods of tillage is necessary. Thus, considering the three types of soil with different texture (light, medium and heavy) and two levels of nanoclay material contains no polymeric material and a percentage of the amount of nanoclay, the number of replications of 6 treatments in 3 Physical and mechanical gradation, were Atterberg Limits, compaction and triaxial . The results of the study showed that the additions of nanoclay particles affect the Grading Curve, Atterberg Limits and specifications are not cumulative. However, a large decrease in the average amount of clay nanoparticles using surface and angle of internal friction and shear parameters of soil. Therefore, we can conclude that an increase in shear strength was reduced and consequently nanoclay tillage soils can be treated more easily and with energy.

Keywords: Atterberg Limits, maximum dry density, optimum moisture content, shear strength, nanoclay