بررسی تغییر رفتار خاک در مقابل تراکم با استفاده از آزمایش فشردگی محصور تحت تأثیر نانوذرات در بلند مدت

الهه دارائی[۱]، حسین بیات[۲]، پویا زمانی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ elahe.daraei69@gmail.com

[۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ h.bayat@basu.ac.ir

[۳]دانشیار گروه علوم دام، دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ Zamani.p@gmail.com

چکیده

منحنی فشردگی محصور یکی از شاخص‌های ساختمان خاک بوده و استفاده از آن برای مدیریت خاک بسیار مهم است. از طرف دیگر در سال‌های اخیر رفتار و ویژگی‌های نانوذرات استفاده شده در محیط زیست مورد مطالعه قرارگرفته، ولی تاثیر آنها بر منحنی فشردگی محصور در بلند مدت تاکنون در هیچ تحقیقی بررسی نشده است. هدف این پژوهش بررسی تأثیر چند ساله نانوذرات بر منحنی فشردگی محصور و پارامترهای آن بود. برای این منظور مقادیر مختلفی (صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) از دو نوع نانوذره اکسید فلزی MgO و Fe_3O_4 با یک خاک لومی در سه تکرار مخلوط شد و اثرات احتمالی نانوذرات بر خواص مختلف خاک بعد از گذشت سه سال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد نانوذره، بر نسبت پوکی اولیه، نسبت پوکی نهایی، نسبت پوکی در تنش ۸۰۸ کیلوپاسکال، شاخص تورم و تنش پیش تراکمی خاک معنی‌دار نشد. ولی سطح ۵ درصد وزنی نانواکسید منیزیم به علت مسدود شدن منافذ و کاهش نسبت پوکی، و سطح ۱ درصد وزنی نانواکسید آهن به سبب رسوب نانواکسید آهن تحت تاثیر آهکی بودن خاک مورد مطالعه، باعث کاهش معنی‌دار شاخص تراکم خاک نسبت به شاهد شدند. تأثیر تیمارهای مختلف بر منحنی تراکم نشان داد که سطح ۳ درصد وزنی نانواکسید آهن باعث کاهش معنی‌دار نسبت پوکی در تنش‌های مختلف شد.

کلمات کلیدی: تراکم محصور، شاخص تراکم، نانواکسید آهن، نانواکسید منیزیم.

Investigation of soil behavior change by compression using confined compression test under the influence of nanoparticles in long-term

E. Daraei[1] H. Bayat[2] P. Zamani[3]

1. M.Sc. Student of Soil Science, Bu-Ali Sina University; elahe.daraei69@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University; h.bayat@basu.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Animal Science, Bu-Ali Sina University; Zamani.p@gmail.com

ABSTRACT

The confined compression curve is one of the soil structure indices and its using is very important for soil management. On the other hand, in recent years, the behavior and properties of nanoparticles used in the environment, have been studied, but their effect on the confined compression curve has not been studied, so far. Therefore, the aim of this study was to investigate the multi-year effect of nanoparticles on the confined compression curve and its parameters. Different amounts (zero, 1, 3 and 5 percentage by weight) of two types of nanoparticle metal oxides, MgO and Fe_3O_4 were mixed with a loamy soil in three replications and their possible effects on different properties of the soil after three years, were studied. The results showed that the application of nanoparticles have not significantly affected initial void ratio, final void ratio, void ratio at 808 kPa stress, swelling index and pre-compaction stress. The 5% treatment of magnesium nanoparticles due to the blocking of pores and the reduction of the void ratio, and 1% iron oxide treatment due to the sedimentation of iron oxide due to the calcareousness of the soil, significantly reduced the soil compression index compared to the control. significantly reduced void ratio at different stresses.

Keywords: Confined compaction, Compression index, Iron oxide nanoparticles, Magnesium oxide nanoparticles.

۱- مقدمه

تعیین درجه تراکم‌پذیری خاک، نیازمند تعیین شاخصی برای نشان دادن مقدار تغییر در ویژگی‌های خاک در اثر بارگذاری فشاری خاک است. در گذشته از شاخص‌های فیزیکی خاک هم‌چون چگالی ظاهری، تخلخل، نسبت پوکی و اندازه منافذ برای تعیین تراکم‌پذیری خاک استفاده شده است (Davies, 1985). از شاخص‌های مکانیکی مهمی که اغلب به‌عنوان معیاری برای ارزیابی فشردگی‌پذیری خاک استفاده می‌شود منحنی تراکم محصور است. منحنی تراکم یک ویژگی بنیادی مکانیک خاک است، که بیان کننده تأثیر تنش مؤثر بر پارامترهای حجمی خاک می‌باشد. این منحنی، لگاریتم تنش در مقابل نسبت پوکی را نشان می‌دهد و شامل دو ناحیه مجزا است که رفتار الاستیک در تنش‌های پایین یعنی خط تراکم مجدد یا تورم، و رفتار پلاستیک در مکش‌های بالاتر یعنی خط فشردگی بکر را نشان می‌دهد. بامگارتل و کوخ (Baumgartl and Köck, 2004) گزارش کردند که معمولاً قدر مطلق شیب خط فشردگی بکر، شاخص فشردگی[1] (C_c) و قدر مطلق شیب خط تراکم مجدد، شاخص تورم[2] (C_s) نام دارد و نقطه انتقال بین منحنی برگشتی الاستیک و منحنی فشردگی بکر به‌عنوان تنش پیش تراکمی[3] (P_c) شناخته می‌شود. حد فاصل دو ناحیه الاستیک و پلاستیک توسط تنش پیش-تراکمی در کشاورزی باید از تنش‌های بزرگ‌تر از تنش پیش-تراکمی اجتناب شود (Dias and Moacir, 2004). تنش پیش-تراکمی در خاک رویین ناشی از تنش‌های اعمالی توسط تردد ماشین‌های کشاورزی، عملیات سست و نرم کردن خاک و تغییر در ساختمان به دلیل فرآیندهای تر و خشک کردن است (Rücknagel, et al., 2007). تا زمانی که تنش وارد شده به خاک از تنش پیش تراکمی تجاوز نکند تغییر شکل برگشت‌پذیر یا الاستیک، در غیر این صورت تغییر شکل خاک ماندگار خواهد شد و حجم منافذ به حالت اول برنمی‌گردد. این تغییر حالت ایجاد شده در اثر تراکم خاک موجب تغییر در خواص فیزیکی و مکانیکی خاک می‌شود که منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصولات و افزایش فرسایش خاک خواهد شد.

دف اصلی از ارزیابی تنش پیش تراکمی، مطالعه ظرفیت باربری خاک در برابر تنش‌های وارد بر آن است که سبب برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب‌تر خواهد شد.

یکی از روش‌های بهبود خصوصیات خاک اصلاح آن با استفاده از مواد افزودنی است. در گذشته افزودنی‌های متداول همچون پلی آکریل آمید، کود دامی، ورمی کمپوست، مواد آلی و لجن بیولوژیکی در تحقیقات سایر پژوهشگران مورد مطالعه قرار گرفته است. در کنار این مواد، نانوذرات که دارای ویژگی‌های منحصر بفردی هستند، درکشاورزی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

امروزه از نانوتکنولوژی در شاخه‌های مختلف علوم به کرات استفاده می‌شود. نانوذرات با اندازه‌ای به طور معمول بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر کوچکترین ذرات در محیط می‌باشند. به خاطر اندازه بسیار کوچکشان، سطح ویژه بسیار بالائی دارند. از این‌رو به‌طور بسیار فعال با دیگر ذرات خاک واکنش می‌دهند (Zhang, 2007). به دلیل داشتن سطح ویژه و بارهای سطحی بسیار بالا، حتی در صورت استفاده بسیار کم از این ذرات در محیط خاک، رفتار فیزیک-شیمیایی و خصوصیات مکانیکی خاک را به طور بسیار ویژه و قابل توجه تحت تأثیر قرار می‌دهند (Zhang, 2007).

استفاده از نانومواد در خاک کاربرد بسیار زیادی پیدا کرده است. نتایج بررسی‌های مختلف نشان داده است که با افزایش نانوسیلس مقاومت فشاری و ضریب نفوذپذیری خاک به ترتیب افزایش و کاهش یافته و هم‌چنین نانوسیلس باعث تغییر رفتار نمونه‌های خاک از حالت الاستیک به الاستوپلاستیک می‌گردد (Butrón, et al., 2009; Gallagher and Lin, 2005). طاها و طاها (Taha and Taha, 2012) تأثیر افزودن انواع مختلف نانوذرات شامل نانو آلومینیوم، نانومس و نانورس بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های مختلف ریزدانه را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن نانو رس دارای تأثیر نامحسوسی بر مقادیر رطوبت بهینه و جرم مخصوص خشک ماکزیمم نمونه‌ها بود و هم‌چنین با افزودن نانورس شاخص خمیری و حد انقباض خاک زیاد شد.

ب نول و همکاران (Noll, et al., 1992) اثر ذرات نانو سیلیکات را برای افزایش مقاومت در برابر نفوذ و تحکیم بررسی کردند. بیات و همکاران (2018) تأثیر افزودن نانوذرات (نانواکسید آهن و منیزیم) بر چگالی، تراکم محصور و مقاومت کششی خاکدانه‌ها در یک خاک لومی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که افزودن نانواکسید منیزیم نسبت پوکی را در حالی که تحت تنش‌های مختلف است افزایش داد و چگالی را به طور معنی‌داری در مقایسه با نانواکسید آهن کاهش داد، به این ترتیب نانو اکسید منیزیم شرایط بهتری را برای رشد گیاه فراهم می‌کند. حال با توجه به خصوصیات نانوذرات از جمله افزایش توانایی در ایجاد خلل و فرج و ایجاد محیط متخلخل می‌توان انتظار داشت که کاربرد نانوذرات باعث کاهش جرم مخصوص خشک شود و همچنین با تأثیر بر رطوبت خاک می‌تواند تراکم‌پذیری خاک را تغییر دهد که در بلند مدت ممکن است این تغییرات تشدید

[1] Comperession index
[2] Swelling index
[3] Pre-compaction stress

شده و چشمگیرتر باشند.

علی‌رغم تأثیر قابل توجه نانو ذرات بر ویژگی‌های تراکم، تأثیر آنها در بلند مدت بر منحنی تراکم محصور خاک اکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف این پژوهش بررسی تأثیر چندساله دو نانواکسید آهن و منیزیم بر مشخصات تراکمی خاک بود.

مواد و روش

به منظور بررسی تأثیر چند ساله نانوذرات اکسید آهن و منیزیم بر تراکم محصور آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (در مجموع ۲۱ نمونه آزمایشی) در آزمایشگاه تحقیقاتی واقع در دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا شد. برای انجام این پژوهش، یک نمونه خاک لومی، از روستای قیه علی بلاغ واقع در استان همدان از یک مزرعه با کشت غالب گندم، با موقعیت جغرافیایی ″۲۶ ′۱ °۳۵ شمالی و ″۱۴ ′۱۹ °۴۸ شرقی تهیه شد. نمونه‌برداری با اطلاع از خصوصیات خاک منطقه و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک انجام شد.

فاکتورها شامل ذرات نانو در دو سطح (نانواکسید آهن و منیزیم) و سطح استفاده از نانوذرات در چهار سطح (صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) بود. آزمایش تراکم محصور با استفاده از دستگاه تک محوری[1](CBR) بر روی نمونه‌های دست نخورده که در داخل دستگاه صفحات فشاری در مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال به تعادل رسیده و سپس خارج شده بودند، انجام شد. اعمال بار بر روی نمونه‌ها توسط پیستون دستگاه CBR، با نرخ بارگذاری ۱ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. در هنگام بارگذاری ۱۰۰ قرائت با فواصل ۰/۰۱ میلی‌متر انجام شد. در هر قرائت میزان تنش اعمال شده و کاهش ارتفاع نمونه (در نتیجه کاهش حجم آن) اندازه‌گیری شد. منحنی تراکم محصور با رسم نسبت پوکی در برابر لگاریتم تنش عمودی به‌دست آمد. پس از انجام آزمایش منحنی تراکم محصور، رطوبت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

مدل گمپرتز (Gompertz, 1825) (معادله ۱) با استفاده از نرم‌افزار Solver Excel 2013 بر داده‌های بارگذاری منحنی تراکم محصور برازش شد و پارامترهای a، b، c و m به‌دست آمدند (Keller, et al., 2011). با بهره‌گیری از پارامترهای مدل گمپرتز (۱۸۲۵)، شاخص تراکم با معادله ۲ و شاخص تورم با معادله ۳ محاسبه شد. تنش پیش-تراکمی با روش گرافیکی کاساگراند (Casagrande, 1936) به دست آمد.

$$e = a + c\exp\{-\exp[b(\log\sigma - m)]\} \quad (۱)$$

ر معادله فوق a، b، c و m پارامترهای برازشی هستند. e بیانگر نسبت پوکی (cm^3cm^{-3}) و σ نیز بیانگر تنش (kPa) است.

(۲)

$$C_C = \frac{bc}{\exp(1)}$$

$$C_{sLoadin-25kpa} = \frac{e_0 - e_{25kpa}}{\log(25kpa)} \quad (۳)$$

در معادلات بالا C_c، شاخص تراکم؛ C_s، شاخص تورم؛ b و c ضرایب مدل گمپرتز؛ e_0، نسبت پوکی اولیه و e_{25kpa} بیانگر نسبت پوکی در حالتی که به نمونه ۲۵ کیلوپاسکال تنش وارد شده است.

برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر کل منحنی فشردگی محصور خاک، یک منحنی فرضی که در پایین منحنی فشردگی محصور همه نمونه‌های خاک بود رسم شد. سپس مساحت بین منحنی فشردگی محصور نمونه‌های خاک با منحنی فرضی با استفاده از انتگرال مجذور میانگین مربع‌های تفاوت دو منحنی (*IRMSD*[2]) و تفاوت سطوح[3](*SD*) ارزیابی شد.

(۴)

$$IRMSD = \left[\frac{1}{b-a_a}\int_a^b (e_h - e_s)^2 \, d\log|\sigma|\right]^{1/2}$$

1California bearing ratio

1- Integral root mean square difference

3Urface difference

$$SD = \int_{a}^{b} |e_h - e_s| d\log|\sigma| \quad (۵)$$

در رابطه فوق *IRMSD*: انتگرال مجذور میانگین مربع‌های تفاوت دو منحنی(cm^3cm^{-3}) و *SD*: تفاوت سطوح (cm^3cm^{-3}) می‌باشد. σ تنش برحسب kPa، e_h, e_s به ترتیب نسبت پوکی مربوط به منحنی فشردگی محصور نمونه‌های خاک و منحنی فرضی می‌باشند. هرچقدر مقدار *IRMSD* و *SD* بالا باشد، به این مفهوم است که مقدار نسبت پوکی به ازای تنش‌های مختلف بیشتر بوده است. در نتیجه شرایط فیزیکی بهبود یافته است (Bayat, et al., 2017). برای بررسی تأثیر نانوذرات و سطوح کاربرد آن‌ها بر ویژگی‌های منحنی تراکم شامل نسبت پوکی اولیه، نسبت پوکی نهایی، نسبت پوکی در تنش ۸۰۸ کیلوپاسکال، شاخص تراکم، شاخص تورم، تنش پیش تراکمی، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. برای رسم نمودارها، از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات کلی نانوذرات اکسید آهن و اکسید منیزیم نشان داد، اندازه نانوذرات اکسید آهن بزرگتر از نانواکسید منیزیم است. در نتیجه چگالی نانواکسید آهن بیشتر از نانواکسید منیزیم می‌باشد. این ویژگی می‌تواند برخصوصیات فیزیکی خاک اثرات چشمگیری داشته باشد. همچنین نانواکسید منیزیم به سبب اندازه کوچک و شکل ظاهری متفاوت با نانواکسید آهن دارای سطح ویژه بیشتری می‌باشد که باعث قدرت بیشتری برای جذب و خاکدانه سازی می‌شود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر پارامترهای تراکم خاک

Table 3- Analysis of the variance of effects of different treatments on the soil compaction parameters

P value						
IRMSD (cm^3cm^{-3})	*SD* (cm^3cm^{-3})	C_c	*e* final	$(1/\log(e_0))^2$	DF	Source
0.6379	0.8305	0.9451	0.5425	0.4251	1	Nano particle
0.2475	0.1897	0.5469	0.5939	0.4918	2	Usage levels
0.0656	0.0430	0.0196	0.3196	0.7280	2	Nano particle ×Usage levels
0.1444	0.1173	0.0908	0.2718	0.8183	6	treat
		Mean				
0.0885	0.2712	1.2051	0.9096	162.08	Control	Nano particle
0.0674	0.2121	1.0980	0.7363	177.07	MgO	
0.0605	0.2009	1.0940	0.6936	154.62	Fe_3O_4	
0.0102	0.03631	0.0399	0.0483	19.3205	SEM	
0.0885	0.2712	0.2051	0.9096	162.08	0%	Usage levels
0.0786	0.2685	1.0460	0.6651	142.51	1%	
0.0476	0.1468	1.1393	0.7339	180.65	3%	
0.0657	0.2041	1.0847	0.7458	174.38	5%	
0.01251	0.4447	0.0489	0.0592	23.662	SEM	
0.0885^{a}	0.2712^{ab}	1.2051^{a}	0.9096	162.08	Control	Nano particle
0.0928^{a}	0.3188^{a}	1.1645^{ab}	0.7455	149.9	MgO 1%	×Usage levels
0.0666^{ab}	0.2098^{ab}	1.1653^{ab}	0.7676	180.71	MgO 3%	
0.0430^{ab}	0.1076^{ab}	0.9964^{b}	0.6960	200.59	MgO 5%	
0.0644^{ab}	0.2183^{ab}	0.9635^{b}	0.5848	135.12	Fe_3O_4 1%	
0.0286^{b}	0.0837^{a}	1.1132^{ab}	0.7004	180.58	Fe_3O_4 3%	
0.0885^{a}	0.3006^{a}	1.2053^{a}	0.7957	148.17	Fe_3O_4 5%	
0.01769	0.06289	0.0692	0.0838	33.464	SEM	

DF: درجه آزادی، e_0: نسبت پوکی اولیه، e final: نسبت پوکی نهایی، C_c e unloading808: شاخص تراکم، *SD*: تفاوت سطوح، *IRMSD*: انتگرال مجذور میانگین مربع‌های تفاوت دو منحنی.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

تأثیر نانوذره بر شاخص تراکم (C_c)

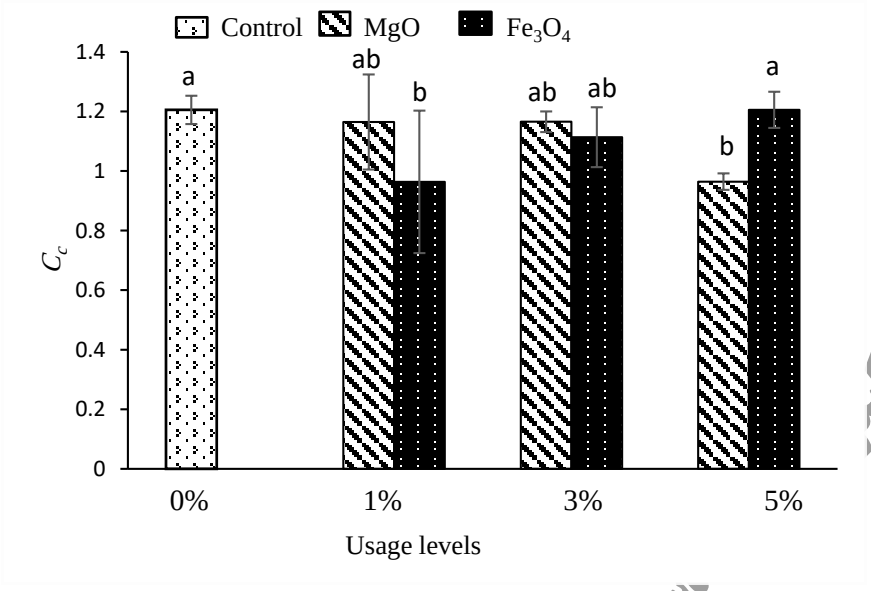
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر برهم‌کنش بین نانوذره و سطوح کاربرد آن‌ها در سطح ۵ درصد آماری بر شاخص تراکم معنی‌داری بود (جدول ۱). سطح ۵ درصد وزنی نانواکسید منیزیم باعث کاهش معنی‌دار شاخص تراکم نسبت به شاهد (خاک بدون نانوذره) شد (شکل ۱). همچنین نانواکسید آهن در سطح ۱ درصد وزنی نیز باعث کاهش معنی‌دار شاخص تراکم خاک نسبت به شاهد شد (شکل ۱).

مقاومت به تراکم با افزایش فشار منفی آب منفذی افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر افزایش رطوبت سبب کاهش ظرفیت تحمل بار خاک می‌شود (Lipiec, et al., 2002). در نسبت‌های پایین نانواکسید منیزیم (۱ و۳ درصد وزنی)، تأثیر معنی‌داری بر شاخص تراکم مشاهده نشد، اما در سطح ۵ درصد وزنی با افزایش نانواکسید منیزیم به‌دلیل مسدود شدن منافذ با نانوذره و کاهش تخلخل در خاک (جدول ۱) و همچنین افزایش چگالی خاک شاخص تراکم کاهش یافته است. از طرفی با کاهش تخلخل رطوبت در خاک نیز کاهش می‌یابد که خود باعث کاهش شاخص تراکم می‌شود.

بالعکس در تیمار نانواکسید آهن با افزایش مقدار نانواکسید آهن مقاومت خاک در برابر نیروهای تراکمی کاهش می‌یابد. سطح کاربرد ۱ درصد نانواکسید آهن باعث کاهش معنی‌دار شاخص تراکم در خاک شد (شکل ۱). در نسبت پایین نانواکسید آهن با وجود تخلخل بیشتر (جدول ۱) مقاومت به تراکم بیشتر شده است و شاخص تراکم کاهش یافته است، اما در نسبت‌های بالا با تخلخل کمتر مقاومت خاک در برابر نیروهای تراکمی کاهش یافته است. حفظ وضعیت و ماندگاری نانواکسید آهن تحت شرایط خاک بسیار کم است (Sun, et al., 2007). بنابراین علت این کاهش مقاومت در مقابل تراکم در نسبت‌های بالای نانواکسید آهن را می‌توان به رسوب نانواکسید آهن به دلیل آهکی بودن خاک مورد مطالعه (D. Sparks, 2003) نسبت داد، که باعث کاهش تخلخل خاک شده و از اتصال ذرات خاک به یکدیگر جلوگیری کرده و سبب افزایش ذرات ریز در خاک می‌شود. در نتیجه در این تیمارها شاخص تراکم نسبت به سطح کاربرد ۱ درصد نانواکسید آهن بیشتر است.

اثر کاربرد نانواکسیدآهن و منیزیم در نسبت‌های مختلف متفاوت می‌باشد، که این نتایج را می‌توان به اندازه نانوذرات، اندازه منافذ بین نانوذرات و سطح ویژه اکسید آهن و منیزیم ربط داد. اندازه ذره نانواکسید آهن (۴۷/۱ نانومتر) نسبت به نانو اکسید منیزیم (۲۳/۱ نانومتر) بزرگتر است، در نتیجه چگالی ظاهری نانو اکسید آهن بیشتر از نانو اکسید منیزیم می‌باشد. در نسبت‌های پایین نانواکسید آهن به دلیل جذب رطوبت کم، مقدار آب برای تشکیل لایه دوگانه‌ی پخشیده کافی نمی‌باشد. با افزایش سطح کاربرد نانواکسید آهن و افزایش جذب رطوبت، ضخامت لایه دوگانه پخشیده افزایش یافته و لایه‌های آب ضخیم‌تر می‌شوند و باعث کاهش اصطکاک بین ذرات می‌شوند. در این حالت، ذرات از پهلو بر روی هم قرار گرفته و توده متراکمی را تشکیل می‌دهند (Alizadeh, 2011). شاید این نکته یکی از عوامل اصلی افزایش شاخص تراکم با افزایش سطح کاربرد نانواکسید آهن در خاک باشد. از طرف دیگر کاهش معنی‌دار شاخص تراکم در تیمار ۵ درصد نانواکسید منیزیم را می‌توان به افزایش بیش‌از حد کلسیم و منیزیم در خاک دانست که باعث افزایش غیرفعال آن‌ها در خاک شده و از توسعه منافذ در خاک جلوگیری کرده و تخلخل (جدول ۱) خاک را کاهش داده و به تبع آن شاخص تراکم را نیز در خاک کاهش داده است. عامل بعدی که می‌توان به آن اشاره کرد افزایش پوکی خاک به وسیله نانواکسید منیزیم نسبت به نانواکسید آهن را، طبق نتایج حاصل از آزمایشات طاها و طاها (Taha and Taha, 2012)، می‌توان به ایجاد ساختارهای تجمعی، کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل مرتبط دانست. نانوذرات می‌توانند با ایجاد مناذ ریز و درشت نسبت پوکی را تحت تأثیر قرار دهند (Li, et al., 2006; Zhang, 2007). تغییر در توزیع اندازه‌ی خلل و فرج، بخصوص خلل و فرج درشت در طی متراکم شدن خاک حائز اهمیت می‌باشد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

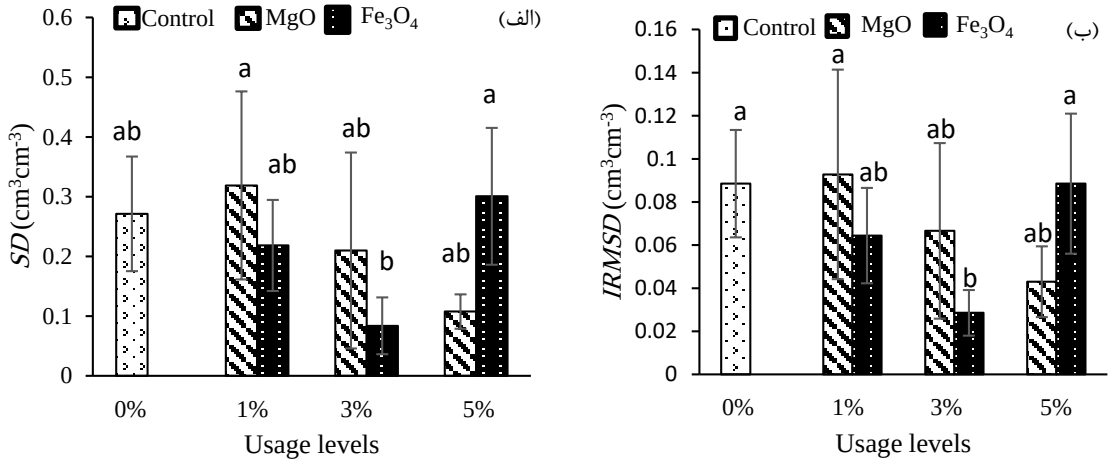


شکل۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر شاخص تراکم. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی ستون‌ها انحراف استاندارد را نشان می‌دهند.

Figure 1. Interactive effect of different treatments on the compression index. Similar letters on each column indicate no significant difference at P < 0.05 according to Duncan's test. Error bars indicate the standard deviations.

تأثیر نانوذره بر منحنی تراکم محصور

نتایج تجزیه واریانس تأثیر برهمکنش بین نوع نانوذره و سطوح کاربرد بر *SD* و *IRMSD* به ترتیب در سطح ۵ و ۷ درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۱). همچنین نتایج مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر *SD* و *IRMSD* نشان داد که سطح ۳ درصد وزنی نانواکسید آهن باعث کاهش معنی‌دار *IRMSD* نسبت به شاهد، ۱ درصد منیزیم و ۵ درصد آهن شد (شکل ۲). هرچه مقادیر *SD* و *IRMSD* بیشتر باشد نشان دهنده بالاتر بودن منحنی تراکم نمونه‌های خاک و بیشتر بودن نسبت پوکی در تنش‌های مختلف است. لی و همکاران (Li, et al., 2006) نیز دریافتند که نانوذرات می‌توانند با افزایش میکروپورها برتخلخل و چگالی ظاهری تأثیرگذار باشند. کاهش چگالی ظاهری به علت افزایش تخلخل و بهبود ساختار خاکدانه‌ها با ترکیبات نانواکسید منیزیم ممکن است باعث افزایش نسبت پوکی شود (Taha and Taha, 2012). در نسبت ۳ درصد نانواکسید آهن نسبت پوکی کاهش یافته و باعث افزایش چگالی ظاهری شده است، اما درنسبت بالای نانواکسید آهن (سطح ۵ درصد) نسبت پوکی افزایش یافته است. نانواکسید آهن به دلیل دارا بودن ذرات ریز می‌تواند منافذ را اشغال کند و نسبت پوکی را کاهش دهد (Ben-Moshe, et al., 2013). همچنین کاربرد نانواکسید آهن در سطح ۵ درصد وزنی که باعث افزایش نسبت پوکی شده است، می‌توان به رسوب نانواکسید آهن به دلیل آهکی بودن خاک مورد مطالعه (D. L. Sparks, 2003) نسبت داد که باعث کاهش تخلخل خاک شده و از اتصال ذرات خاک به یکدیگری جلوگیری کرده و سبب افزایش ذرات ریز خاک می‌شود در نتیجه نسبت پوکی افزایش یافته است. بیات و همکاران (2018) نیز گزارش کردند که با افزودن نانواکسید منیزیم نسبت پوکی در تنش‌های مختلف افزایش یافت. سطح ۱ درصد نانو اکسید منیزم نیز باعث افزایش معنی‌دار *SD* و *IRMSD* نسبت به سطح ۳ درصد آهن شد. علت افزایش معنی‌دار این تیمار را می‌توان به این موضوع مرتبط دانست، که کم‌تر بودن میزان دو یون کلسیم و منیزیم در نسبت پایین این تیمار، باعث کاهش نسبت پوکی شده است. اما در نسبت‌های بالاتر (سطح ۳ و ۵ درصد وزنی نانواکسید منیزیم) به علت افزایش بیش‌از حد کلسیم و منیزیم در خاک باعث افزایش غیرفعال آن‌ها و ماده آلی در خاک شده و مانع از چسبندگی ذرات و ایجاد خاکدانه‌های جدید (Igwe and Nkemakosi, 2007) و به دنبال آن بهبود و توسعه منافذ کاهش یافته است. در نتیجه در این تیمارها نسبت پوکی، نسبت به سطح کاربرد ۳ درصد آهن افزایش یافته است.



شکل۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر منحنی تراکم محصور خاک. الف) *SD*: تفاوت سطوح، ب) *IRMSD*: انتگرال مجذور مربع-های میانگین تفاوت دو منحنی. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها در هر یک از نمودارها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی ستون‌ها انحراف استاندارد را نشان می‌دهند.

Figer 2. Interactive effect of different treatments on the confined compression curve. a) *SD*: surface difference, b) *IRMSD*: integral root mean square difference. Similar letters on each column indicate no significant difference at P < 0.05 according to Duncan's test. Error bars indicate the standard deviations.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر نانوذرات اکسید آهن و منیزیم بر برخی خصوصیات تراکمی یک خاک لومی بعد گذشت زمان سه سال از اعمال تیمار مورد بررسی قرار گرفت. با برآیندی از نتایج آزمایشات می‌توان گفت افزودن نانواکسید منیزیم در سطح ۵ درصد وزنی به علت سطح کاربرد بیشتر این نانوذره در خاک با مسدود کردن منافذ و کاهش نسبت پوکی باعث کاهش معنی‌دار شاخص تراکم خاک شد. همچنین نانواکسید آهن در نسبت ۱ درصد وزنی به سبب رسوب نانواکسید آهن به علت آهکی بودن خاک مورد مطالعه باعث کاهش تخلخل شده و از اتصال ذرات خاک به یکدیگر جلوگیری کرده و سبب افزایش ذرات ریز در خاک شد، بکه منجر به کاهش معنی‌دار شاخص تراکم خاک شد. بدین ترتیب می‌توان گفت که کاربرد این نسبت از نانواکسیدها باعث افزایش مقاومت خاک در برابر نیروهای تراکمی مانند نیروهای ناشی از وزن ماشین‌های کشاورزی می‌شود، و همچنین از تخریب ساختمان خاک جلوگیری می‌کنند. در مقابل افزودن نانواکسید آهن در نسبت ۳ درصد وزنی نسبت پوکی را کاهش داد و باعث افزایش چگالی ظاهری خاک شده، بنابراین شرایط بدی را برای رشد ریشه و تهویه در خاک به وجود می‌آورد. به طور کلی نیمار حاوی درصد بالای نانواکسید منیزیم و درصد پایینی از نانواکسید آهن با تأثیر گذاری بر تخلخل و نسبت پوکی در خاک باعث بهبود پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک شدند.

مراجع

Alizadeh, A. (2011). Soil Physical. (Second Edition ed). Astan Quds Razavi Printing and Publishing Company .(persian)

Baumgartl, T.andKöck, B. (2004). Modeling volume change and mechanical properties with hydraulic models. Soil Science Society of America Journal,68(1),57-65.

Bayat, H., andKolahchi, Z., andValaey, S., et al. (2018). Novel impacts of nanoparticles on soil properties: tensile strength of aggregates and compression characteristics of soil. Archives of Agronomy and Soil Science, 64(6), 776-789 .

Bayat, H., andSheklabadi, M., andMoradhaseli, M., et al. (2017). Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve. Geoderma, 303, 150-164 .

Ben-Moshe, T., andFrenk, S., andDror, I., et al. (2013). Effects of metal oxide nanoparticles on soil properties. Chemosphere, 90(2), 640-646 .

Butrón, C., andAxelsson, M.andGustafson, G. (2009). Silica sol for rock grouting: Laboratory testing of strength, fracture behaviour and hydraulic conductivity. Tunnelling and underground space technology, 24(6), 603-607 .

Casagrande, A. (1936). The determination of pre-consolidation load and it's practical significance. Paper presented at the

Proc. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Cambridge, Mass., 1936.
Davies, P. (1985). Influence of organic matter content, moisture status and time after reworking on soil shear strength. European Journal of Soil Science, 36(2), 299-306 .
Dias, J.andMoacir, d. S. (2004). A soil mechanics approach to study soil compaction and traffic effect on the preconsolidation pressure of tropical soils. Retrieved from
Gallagher, P. M.andLin, Y. (2005). Column testing to determine colloidal silica transport mechanisms. In Innovations in grouting and soil improvement (pp. 1-10).
Gompertz, B. (1825). XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. In a letter to Francis Baily, Esq. FRS &c. Philosophical transactions of the Royal Society of London, 115, 513-583 .
Igwe ,C. A.andNkemakosi, J. T. (2007). Nutrient element contents and cation exchange capacity in fine fractions of southeastern nigerian soils in relation to their stability. Communications in soil science and plant analysis, 38(9-10), 1221-1242 .
Keller, T ,.andLamandé, M., andSchjønning, P., et al. (2011). Analysis of soil compression curves from uniaxial confined compression tests. Geoderma, 163(1-2), 13-23 .
Li, Z., andWang, H., andHe, S., et al. (2006). Investigations on the preparation and mechanical properties of the nano-alumina reinforced cement composite. Materials Letters, 60(3), 356-359 .
Lipiec, J., andFerrero, A., andGiovanetti, V., et al. (2002). Response of structure to simulated trampling of woodland soil. Adv. Geoecol, 35, 133-140 .
Noll, M .R., andBartlett, C.andDochat, T. M. (1992). In situ permeability reduction and chemical fixation using colloidal silica. Paper presented at the Proceeding of the Sixth National Outdoor Action Conference on Aquifer Restoration, Ground Water Monitoring, and Geophysical Method, National Ground Water Association.
Rücknagel, J., andHofmann, B., andPaul, R., et al. (2007). Estimating precompression stress of structured soils on the basis of aggregate density and dry bulk density. Soil and Tillage Research, 92, (2-1), 213-220.
Sparks, D. (2003). Chemistry of soil organic matter. Environmental soil chemistry, 75-113 .
Sparks, D. L. (2003). Environmental soil chemistry: Elsevier.
Sun, Y.-P., andLi, X.-Q., andZhang, W.-X., et al. (2007). A method for the preparation of stable dispersion of zero-valent iron nanoparticles. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 308(1-3), 60-66 .
Taha, M. R.andTaha, O. M. E. (2012). Influence of nano-material on the expansive and shrinkage soil behavior. Journal of nanoparticle Research, 14(10), 1190 .
Zhang, G. (2007). Soil nanoparticles and their influence on engineering properties of soils. In Advances in Measurement and Modeling of Soil Behavior (pp. 1-13).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران