نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره پنجم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

بررسی تأثیرنانوذرات اکسیدهای آلومینیم و سیلیسیم بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک

نوازاله مرادی[۱]، *حجت امامی[۲]، علیرضا آستارایی[۲]، امیر فتوت[۳] و بیژن قهرمان[۴]

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد،
[۳]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، [۴]استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹٤/۱۱/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: پایداری ساختمان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که بر جنبه‌های دیگر خاک مثل فرسایش و نفوذ آب در خاک تأثیر می‌گذارد. یکی از روش‌های بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، استفاده از اصلاح‌کننده‌ها می‌باشد. مواد نانو یکی از جدیدترین مواد اصلاحی است که می‌تواند نقش مهمی بر ویژگی‌های خاک داشته باشد و نتایج پژوهشگران نشان‌دهنده تأثیر مواد نانو بر ویژگی‌های مکانیکی (حد خمیرایی و روانی) است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر ذرات نانواکسید سیلیسیم و نانواکسید آلومینیم بر برخی از شاخص‌های پایداری ساختمان خاک بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر نانواکسید آلومینیوم و سیلیسیم بر شاخص‌های پایداری ساختمان، یک خاک لوم سیلتی انتخاب شد. خاک مورد مطالعه از مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی نمونه‌برداری، هوا خشک و از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۹ تیمار و ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل شاهد (بدون افزودن ماده اصلاحی) و نانواکسیدهای آلومینیوم و سیلیسیم به‌صورت جداگانه با غلظت‌های ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۲ درصد وزنی به خاک اضافه شدند و در گلدان‌هایی به وزن ۵ کیلوگرم در دوره زمانی ٤ ماه در رطوبت بین ظرفیت زراعی تا ۵۰ درصد آن و دمای بین ۱۸ تا ۲۵ درجه در گلخانه نگهداری شدند. سپس شاخص‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه به روش الک تر (MWD_{wet}) و خشک (MWD_{dry})، درصد پایداری خاکدانه‌ها (AS) و درصد تخریب خاکدانه‌ها (PAD) اندازه‌گیری شد. تحلیل آماری و مقایسه میانگین‌ها در سطح پنج درصد بین تیمارهای مختلف بر اساس تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزودن مواد اصلاحی تأثیر معنی‌داری برپارامترهای پایداری ساختمان خاک داشتند و باعث افزایش معنی‌دار MWD_{wet}، MWD_{dry} و AS و کاهش PAD شدند. بیش‌ترین مقدار MWD_{wet} و MW_{Ddry} مربوط به تیمار نانواکسید آلومینیوم با غلظت ۰/۰۲ درصد بود و در هر دو ماده اصلاحی میانگین وزنی قطر خاکدانه در هر دو حالت خشک و تر با زیاد شدن غلظت افزایش پیدا کرد. کم‌ترین میزان تخریب خاکدانه‌ها

* مسئول مکاتبه: hemami@um.ac.ir

(PAD) مربوط نانواکسید سیلیسیم با غلظت ۰/۰۱ درصد بود و تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف نانواکسید سیلیسیم از نظر تخریب وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر مثبت هر دو ماده اصلاحی نانواکسید آلومینیم و سیلیسیم بر بهبود پایداری ساختمان خاک می‌باشد و نانواکسید سیلیسیم تأثیر بهتری نسبت به نانواکسید آلومینیوم از نظر کاهش درصد تخریب خاکدانه‌ها داشت.

واژه‌های کلیدی: نانواکسید آلومینیم، نانواکسید سیلیسیم، پایداری خاکدانه، اصلاح‌کننده خاک

مقدمه

امروزه تخریب و فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی می‌باشد. ویژگی‌های فیزیکی خاک یکی از عواملی است که تحت‌تأثیر تخریب خاک قرار می‌گیرد. ساختمان خاک یکی از ویژگی‌هایی است که علاوه بر تأثیر بر تهویه، رطوبت، گرما و مقاومت مکانیکی خاک در برابر فرسایش، بر فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و فعالیت میکروبی و تجزیه ماده آلی نیز مؤثر می‌باشد (۲۲). یکی از دلایل حساس بودن بعضی از خاک‌ها به فرسایش، ناپایداری ساختمانی خاکدانه‌های آن‌ها می‌باشد. یکی از راه‌های اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک افزودن مواد اصلاحگر[1] به خاک می‌باشد، که با جذب بر روی ذرات خاک موجب تقویت پیوستگی آن‌ها به هم و افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود، در نتیجه موجب افزایش نفوذ آب و کاهش فرسایش و رواناب در خاک خواهد شد (۲۱). مطالعات فراوانی در رابطه با اصلاح‌کننده‌های با منشأ آلی و معدنی جهت اصلاح خاک انجام شده است (۷، ۹). اضافه کردن مواد پلیمری و شیمیایی از قبیل پلی‌اکریل‌آمید (٤، ١٤، ١٨، ٢٢، ٢٤)، پلی‌وینیل‌استات (۱۰)، مواد آلی، گچ (۱، ۷، ۸، ۲۳) به خاک نشان‌دهنده اثر مثبت این مواد بر اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد. بر اساس نظر تیسدال و ادز (۱۹۸۲) مواد آلی هیومیکی حلقوی همراه با ترکیبات بی‌شکل آهن و آلومینیم و یا کاتیون‌های فلزی چندظرفیتی از عوامل پایداری خاکدانه‌های کوچک خاک می‌باشند (۲۸). ادز (۱۹۸٤) بیان داشته است که پایداری خاکدانه‌ها در بسیاری از خاک‌ها بستگی به ویژگی‌های ماده آلی، رس و اکسیدها دارد، ولی همه ترکیبات آلی اثر یکسانی بر پایداری خاک ندارند و انواع مختلف اثرات متفاوتی دارند (۱۹).

الطائف و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی از غلظت‌های مختلف سولفات آلومینیم در خاک‌های آهکی با بافت رس سیلتی به‌منظور جلوگیری از سله استفاده کردند و نشان دادند که تیمار حاوی ۰/۲ درصد سولفات آلومینیم میزان MWD را دو برابر افزایش داد و مانع تشکیل سله در این نوع خاک‌ها گردید. در اصلاح خاک‌های سدیمی استفاده از سولفات آلومینیم اثر بهتری نسبت به گچ در کاهش رس قابل‌انتشار داشته (۵، ۲۰) و استفاده از سولفات آلومینیم به همراه مواد آلی باعث افزایش مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و بهبود هدایت هیدرولیکی خاک شده است (۱، ۵). از طرفی اکسیدهای آلومینیم و سیلیسیم نیز می‌تواند باعث افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و افزایش پایداری خاکدانه‌ها در آب شوند (۱۲) و این مواد در پایداری ساختمان و خاکدانه‌سازی خاک‌های مناطق خشک نقش بسیار مهم ایفا می‌کند (۸)، به‌طوری‌که

1- Soil Conditioner

جهت تثبیت شن‌های روان اضافه کردن اکسیدهای الومینیم و سیلیسیم به ترکیبات پوزالان (ترکیباتی است که در اصل از خاکستر آنشفشانی تشکیل شده‌اند و حاوی سیلیسیم و آلومینیم هستند) اضافه شده به خاک باعث افزایش مقاومت شن‌های روان به فرسایش بادی شده است (۱۱). ماتیچنکوف و همکاران (۲۰۰۱) گزارش داده است که ترکیبات پلی‌اسیدسیلیسیک به‌علت حلالیت خود باعث بهبود خاکدانه‌سازی و افزایش نگهداری آب در خاک می‌شوند (۱۷).

فن‌آوری نانو یکی از جدیدترین فناوری‌های موجود است که به‌علت پتانسیل بالا و ویژگی‌های منحصر به فرد آن در تمام زمینه‌های علوم و تحقیقات از جمله منابع طبیعی و حفاظت خاک کاربرد دارد (۳). به‌نظر می‌رسد که با پیشرفت علم، فناوری نانو بتواند در بهبود کیفیت فیزیکی خاک کمک شایانی انجام دهد.

مطالعات انجام شده در رابطه با تأثیر مواد نانو بر خاک نشان می‌دهد که نانو مواد اکسید مس و نانواکسید منیزیم و رس بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک تأثیر دارند، به‌طوری‌که اضافه کردن این مواد به خاک، سبب کاهش حد روانی، حد خمیری، شاخص خمیرایی و انقباض خطی و افزایش چگالی ظاهری خشک می‌شود (۱۵). در مطالعه دیگری مشخص شد که نانوذرات شیمیایی نظیر کلرید کلسیم، اکسید کلسیم، نیترات پتاسیم در حضور رس بر ویژگی‌های مکانیکی خاک مؤثر بود و اضافه کردن کلرید کلسیم نانو حد خمیری را کاهش داد و نانواکسید کلسیم و نیترات پتاسیم باعث افزایش حد خمیری و مقاومت برشی خاک شدند (۲۷). طاها و طاها (۲۰۱۲) با بررسی مواد نانواکسید مس، نانواکسید آلومینیم و رس بر روی رفتار انقباض و انبساط خاک دریافتند که اضافه کردن درصد بهینه مواد نانو، علاوه بر این‌که حد خمیری را کاهش داد، ترک به‌دست آمده از خشکی در سطح نمونه‌های متراکم شده خاک را بدون کاهش دادن هدایت هیدرولیکی کاهش داد (۲۶). پژوهش‌های انجام شده در مباحث مکانیک خاک نشان می‌دهد که اضافه کردن مقدار کمی از نانوذرات به خاک سبب تغییرات معناداری در برخی از ویژگی‌های مکانیکی نظیر مقاومت برشی و حدود خمیرایی خاک می‌شود (۱۶، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۳۱).

مطالعه چندانی در رابطه با اثر نانوذرات بر ویژگی‌های فیزیکی خاک انجام نشده است. با توجه به خصوصیات ویژه نانوذرات که اندازه کوچک و سطح ویژه زیادی دارند، این مواد می‌توانند تأثیر زیادی بر ویژگی‌های خاک بگذارند و به‌نظر می‌رسد نانوذرات آلومینیم و سیلیسم می‌تواند نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک داشته باشند. البته پیش‌بینی اثر اضافه کردن مواد نانو بر ویژگی‌های فیزیکی خاک به‌علت عدم پژوهش و نبودن داده‌های واقعی سخت می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر ذرات نانواکسید سیلیسیم و نانواکسید آلومینیم بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله شاخص‌های پایداری ساختمان خاک نظیر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD[1] در دو حالت تر و خشک، پایداری خاکدانه‌ها در آب AS[2] و درصد تخریب PAD[3] خاکدانه‌ها در یک خاک حساس به فرسایش با بافت لوم سیلتی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی یک نوع خاک با بافت لوم سیلتی با مشخصات جدول ۱ که از مرکز تحقیقات کشاورزی استان خراسان رضوی جمع‌آوری شده بود، انجام شد. پس از نمونه‌برداری و هواخشک نمودن خاک‌ها به‌منظور ایجاد یکنواختی، نمونه‌ها از الک

1- Mean weight diameter
2- Aggregate stability
3- Percentage of aggregate destruction

٤ میلی‌متری عبور داده شدند. به خاک عبور داده شده از الک در قالب طرح کاملاً تصادفی با غلظت‌های صفر (B)، ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۲ درصد وزنی نانواکسید آلومینیوم و نانواکسید سیلیسیم به‌صورت جداگانه در سه تکرار به خاک اضافه شدند، که مشخصات مواد اصلاحی در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این‌که غلظت‌های مورد استفاده مواد نانو در این پژوهش کم بود، به‌منظور ایجاد یکنواختی در اعمال تیمارها، ابتدا آن‌ها با ذرات ریز شن (خنثی از نظر بار الکتریکی) مخلوط شدند و مخلوط به‌دست آمده بر روی خاک هوا خشک پاشیده شد و پس از آن جهت اطمینان از یکنواختی بیش‌تر، خاک به هم زده شد. خاک‌های تیمار شده در گلدان‌های به وزن ۵ کیلوگرم بر اساس جرم مخصوص ظاهری برابر با ۱/۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب ریخته شد و در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی در دمای بین ۱۸ تا ۲۵ درجه به‌مدت ٤ ماه در وضعیت رطوبتی بین ظرفیت زراعی (FC) تا ۵۰ درصد آن نگهداری شدند.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Some physical and chemical properties of studied Soil.

pH (1:5)	کربن آلی (٪) Organic carbon	بافت خاک Soil texture	سیلت (٪) silt	شن (٪) sand	رس (٪) clay
7.76	0.23	Silt loam	54	28	18

جدول ۲- برخی از مشخصات مواد نانو.

Table 2. Some properties of nano material.

سطح ویژه SSA	اندازه size	درصد خلوص Purity	نوع ماده نانو Nano material
>138 m^2/g	20 nm	99%	Al_2O_3
180-600 m^2/g	20-30 nm	99%	SiO_2

بعد از گذشت چهار ماه جهت اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت الک خشک و تر، خاک‌های هوا خشک شده از الک ۸ میلی‌متری عبور داده و از خاکدانه‌های باقی‌مانده بین الک ٤ و ۸ برای اندازه‌گیری MWD_{wet} و MWD_{dry} بر اساس روش کمپر و روزنا (۱۹۸٦) با استفاده از سری الک‌های با قطر ٤، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر استفاده شد (۱۳). خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک در آون در دمای ۱۰۵ درجه خشک و بعد از وزن کردن و تصحیح شن بر اساس رابطه ۱ میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر دو حالت تر و خشک محاسبه شد.

$$MWD = \sum_{i=1}^{k} W_i \bar{x}_i \qquad (۱)$$

که در آن، X_i میانگین قطر منافذ دو الک متوالی، W_i نسبت جرم توده خاک باقی‌مانده روی هر الک به جرم کل خاک پس از تصحیح شن.

یکی دیگر از شاخص‌ها، پایداری خاکدانه‌ها (AS) می‌باشد که با استفاده از روش الک تر (۲، ۱۳) و بعد از تصحیح شن بر اساس رابطه ۲ تعیین شد.

$$\%AS = \frac{WSA - Msand}{Msample - Msand} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، WSA جرم خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی الک ۰/۲۵ میلی‌متری، Msand جرم شن و Msample جرم نمونه خاک.

درصد تخریب خاکدانه‌ها یکی دیگر از شاخص‌های مناسب جهت ارزیابی ساختمان فیزیکی خاک می‌باشد که بر اساس اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر و خشک به‌دست می‌آید، که برای تعیین آن جرم خاکدانه‌های بزرگ‌تر از اندازه ۰/۲۵ میلی‌متر در دو حالت الک خشک (md) و تر (mw) تعیین و بر اساس رابطه ۳ مقدار PAD محاسبه شد (۳۰) و هرچه میزان آن کم‌تر باشد نشان‌دهنده پایدار بودن بیش‌تر خاکدانه‌ها است.

$$PAD = \frac{md - mw}{md} \times 100 \qquad (۳)$$

تجزیه تحلیل آماری: تحلیل آماری و مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد بین تیمارهای مختلف به‌ترتیب بر اساس تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 انجام شد و جهت رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس یک‌طرفه، تأثیر تیمارهای مختلف آزمایشی بر برخی از شاخص‌های پایداری خاک، نشان می‌دهد که در همه تیمارها شاخص‌های پایداری نظیر MWD در هر دو حالت مرطوب و خشک، AS و PAD نسبت به شاهد اثر معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ داشته است.

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین شاخص‌های پایدرای ساختمان خاک.

Table 3. Analysis of variance for soil structural satability indicators.

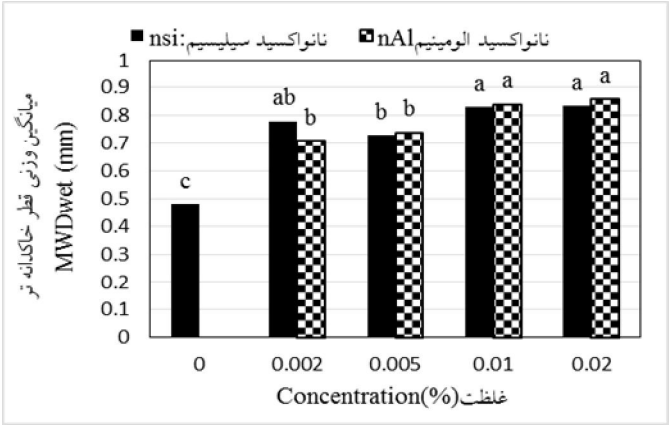
منابع تغییر (Sources of variations)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean squares)			
		MWD_{wet}	MWD_{dry}	AS	PAD
تیمار treatment	8	0.04**	0.247**	389.724**	256.261**
خطا (Error)	18	0.001	0.028	15.443	7.406
ضریب تغییرات CV (%)		4.2	3.5	5.3	6

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

ns, *, ** Non significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively. MWD_{wet}: Mean weight diameter of wet aggregates, MWD_{dry}: Mean weight diameter of dry aggregates, AS: aggregate stability, PAD: Percentage of aggregate destruction.

تأثیر مواد اصلاحی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر (MWD_{wet}): نتایج نشان داد افزودن مواد نانواکسید آلومینیوم و نانواکسید سیلیسیم به خاک تأثیر معنی‌داری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر داشت و با افزایش غلظت هر دو ماده نانواکسید آلومینیوم و نانواکسید سیلیسیم مقدار MWD_{wet} افزایش پیدا کرد. غیر از سطح ۰/۰۰۲ درصد، مقدار افزایش در سطوح مختلف نانواکسید آلومینیم بیش‌تر از نانواکسید سیلیسیم بود (شکل ۱). بر اساس مقایسه میانگین مشخص شد که مقدار MWD_{wet} همه تیمارهای حاوی مواد نانو در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد (بدون ماده

اصلاحی) داشت. کم‌ترین مقدار MWD_{wet} مربوط به تیمار شاهد و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به نانواکسید آلومینیوم با غلظت ۰/۰۲ درصد وزنی بود و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت مرطوب در این تیمار ۸۰ درصد نسبت به تیمار شاهد بیش‌تر بود. تفاوت بین غلظت‌های ۰/۰۱ و ۰/۰۲ درصد هر دو ماده معنی‌دار نبود، در حالی‌که با غلظت‌های ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۲ درصد وزنی تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند. بنابراین می‌توان گفت که با افزایش غلظت هر دو ماده نانواکسید سیلیسیم و آلومینیم میزان MWD_{wet} و در نتیجه پایداری ساختمان خاک افزایش داشته است. البته بین غلظت‌های مشابه هر دو ماده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. علت افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در اثر اضافه کردن اصلاح‌کننده‌ها به خاک این است که با بروز واکنش‌های شیمیایی و ایجاد پیوند بین ماده اصلاح‌کننده و ذرات خاک، خاکدانه‌ها به‌وجود آمده‌اند. ژوزف‌آکیو و همکار (۲۰۱٤) تأثیر مثبت غلظت‌های مختلف (۲، ٤ و ٦ درصد) اکسید سیلیسیم و اکسید آلومینیوم غیرنانو بر افزایش MWD_{wet} در یک خاک با بافت لوم سیلتی در شرایط آزمایشگاهی گزارش نموده و عنوان کردند اکسید آلومینیم مقدار MWD_{wet} کم‌تری نسبت به اکسید سیلیسیم داشت (۱۲)، در حالی‌که در این پژوهش به‌جز غلظت ۰/۰۰۲ درصد، نانواکسید آلومینیم نسبت به نانواکسید سیلیسیم اثر بهتری بر MWD_{wet} داشته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اضافه کردن هر دو ماده اصلاحی به این خاک باعث افزایش MWD_{wet} در همه تیمارها شده است که این نتایج با پژوهش‌های مشابه در رابطه با اثر نمک سولفات آلومینیم معمولی (غلظت‌های ۰/۲، ۰/۱، ۰/۰۵، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ درصد) بر افزایش MWD_{wet} توسط الطایف و همکاران (۲۰۰۸) و دانشور و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد (۵، ٦)، با این تفاوت که حتی در غلظت‌های بالای سولفات آلومینیم (۰/۲ درصد) مقدار MWD_{wet} نسبت به نانواکسید سیلیسیم و آلومینیوم در همه تیمارها کم‌تر می‌باشد.



شکل ۱- اثرات متقابل غلظت و نوع مواد اصلاحی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های تر.

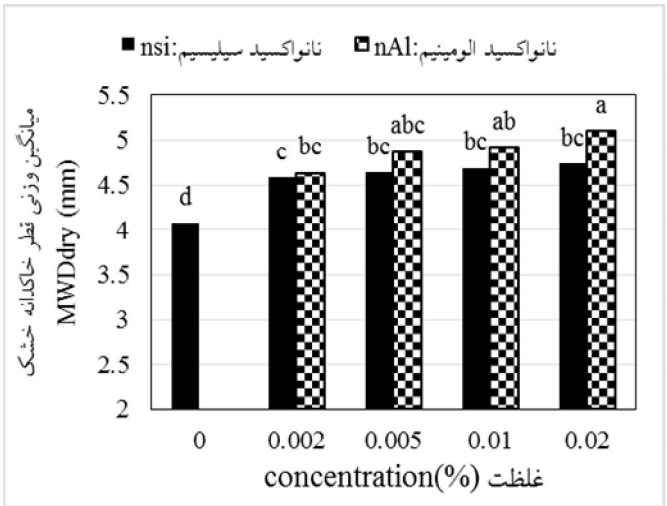
Figure 1. Interaction effects of concentration (%) and type of amendment on mean wight diameter of wet aggregates.

مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلافی ندارند.

Values that have same letters are not statistically difference at P<0.05.

تأثیر مواد اصلاحی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک (MWD_{dry}): نتایج نشان داد که افزودن نانواکسید آلومینیم و سیلیسیم به خاک در طول دوره آزمایش مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک را نیز افزایش داد و با افزایش غلظت مواد نانو روند افزایشی در میانگین وزنی قطر

خاکدانه‌های خشک مشاهده شد. همچنین مقدار MWD_{dry} در تمامی غلظت‌های نانواکسید آلومینیم بیش‌تر از نانواکسید سیلیسیم بود. کم‌ترین مقدار MWD_{dry} مربوط به شاهد و بیش‌ترین مقدار آن نیز مربوط به غلظت ۰/۰۲ درصد نانواکسید آلومینیم بود، که نسبت به شاهد ۲۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲). بر اساس آزمون دانکن تیمار ۰/۰۲ درصد نانواکسید آلومینیوم با تیمارهای شاهد و ۰/۰۰۲ درصد نانواکسید آلومینیوم تفاوت معنی‌داری داشت. همچنین این تیمار با تمامی غلظت‌های نانواکسید سیلیسیم تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داد. با این که با افزایش غلظت نانواکسید سیلیسیم روند افزایشی در MWD_{wet} به‌دست آمد، ولی تفاوت معنی‌داری بین سطوح آن مشاهده نشد، ولی با شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند. در بین مواد اصلاحی، کم‌ترین مقدار MW_{Ddry} در تیمار ۰/۰۰۲ درصد نانواکسید سیلیسیم مشاهده شد، با این حال در این تیمار نیز نسبت به شاهد مقدار MWD_{dry} ۱۲ درصد افزایش به‌دست آمد. بر اساس این نتایج نانواکسید آلومینیم نسبت به نانواکسید سیلیسیم تأثیر بیش‌تری بر مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک داشته است. با توجه به چسبندگی کم بین ذرات خاک در نمونه شاهد، افزودن مواد اصلاحی باعث پیوند قوی بین ذرات خاک و در نتیجه بزرگ‌تر شدن مقدار MWD_{dry} گردیده است. در واقع افزودن اکسیدهای چندظرفیتی نظیر اکسید آلومینیم و سیلیسیم به‌عنوان عامل پیونددهنده ذرات خاک، باعث به‌وجود آمدن پیوندهایی بین این مواد و ذرات خاک می‌شود و خاکدانه‌های بزرگ‌تر و پایدارتری ایجاد می‌کند (۲۷). این پیوندها بسته به غلظت و نوع ماده تغییر می‌کند. افزایش غلظت مواد باعث ایجاد هماوری بیش‌تری در ذرات خاک شده و در نتیجه خاکدانه‌های بزرگ‌تر و پایدارتری ایجاد شده است. اکسیدهای آلومینیوم و سیلیسیم از طرف دیگر مانند سیمان می‌توانند بین ذرات خاک رسوب کند و مانند پلی سبب متصل شدن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه و پایداری خاکدانه‌ها شود. گزارش شده است کاربرد سولفات آلومینیم و نانواکسید آلومینیم باعث جلوگیری از تشکیل سله (٦) و ترک‌خوردگی خاک متراکم شده خشک می‌شود که ناشی از نقش یون آلومینیوم در کمپلکس این یون با ترکیبات دیگر می‌باشد که نتیجه آن جلوگیری از سله می‌باشد (۲۷).



شکل ۲- اثرات متقابل غلظت و نوع مواد اصلاحی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خشک.

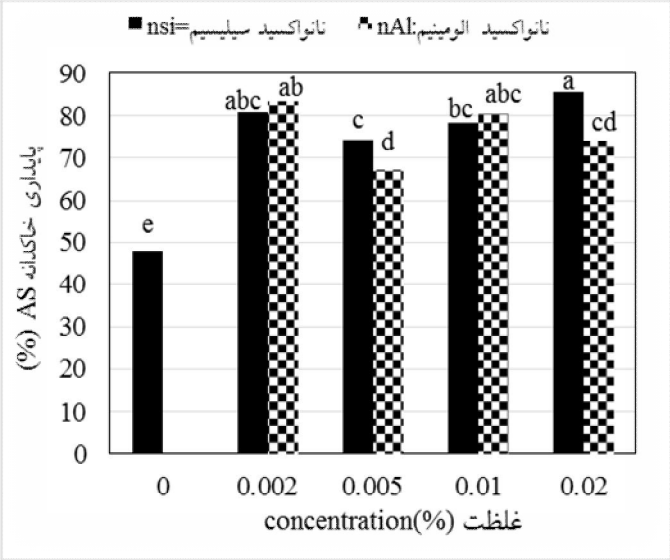
Figure 2. Interaction effects of concentration (%) and type of amendment on mean wight diameter of dry aggregates.

مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلافی ندارند.

Values that have same letters are not statistically difference at P<0.05.

اثر مواد اصلاحی بر پایداری خاکدانه‌ها (AS): نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌ها نشان داد (شکل ۳) که در همه تیمارها، مواد اصلاحگر، شاخص پایداری خاکدانه‌ها (AS) را نسبت به شاهد در دوره آزمایش به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. بیش‌ترین مقدار AS مربوط به سطح ۰/۰۲ درصد نانواکسید سیلیسیم بود که نسبت به شاهد ۷۹ درصد افزایش نشان داد. به‌جز تیمارهای ۰/۰۰۲ درصد نانواکسید سیلیسیم و آلومینیوم و همچنین سطح ۰/۰۱ درصد نانواکسید آلومینیوم، شاخص پایداری خاکدانه‌ها در این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. بر اساس نتایج به‌دست آمده بعد از سطح ۰/۰۲ درصد نانواکسید سیلیسیم، تیمار ۰/۰۰۲ درصد نانواکسید آلومینیوم بیش‌ترین درصد پایداری خاکدانه‌ها را دارا می‌باشد. از آن‌جا که تفاوت معنی‌داری بین غلظت ۰/۰۰۲ درصد نانواکسید آلومینیوم و سیلیسیم با سطح ۰/۰۲ نانواکسید سیلیسیم (بیش‌ترین مقدار AS) وجود ندارد اثرگذاری هر دو ماده در غلظت ۰/۰۰۲ درصد بر پایداری خاکدانه بهتر بوده است و همچنین بر اساس نتایج MDW_{wet} می‌توان سطح ۰/۰۰۲ درصد نانواکسید آلومینیوم را به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار جهت افزایش پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک معرفی نمود. از آن‌جا که کاتیون‌های چندظرفیتی از عوامل پیونددهنده دائمی در پایداری خاکدانه‌ها محسوب می‌شوند و سبب پایداری خاکدانه‌های کوچک می‌شوند (۲۹) و از سوی دیگر در اندازه‌گیری AS از خاکدانه‌های بین الک ۱ و ۲ میلی‌متری استفاده می‌شود، در غلظت ۰/۰۰۲ درصد با تشکیل بیش‌تر خاکدانه‌های کوچک، پایداری آن‌ها بیش‌تر می‌شود و افزایش غلظت ماده اصلاحی باعث بیش‌تر شدن غلظت الکترولیت شده که باعث هماوری و تشکیل خاکدانه‌های درشت می‌شود که مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر خاک در غلظت ۰/۰۰۵ تأییدکننده این موضوع است. مقدار AS در این تیمار نیز بالاست که نشان می‌دهد در این تیمار هماوری خاکدانه‌های بین یک و دو میلی‌متر به خوبی انجام شده و خاکدانه‌ها پایداری لازم را داشته‌اند.

کاتیون‌های اضافه شده به خاک با ایجاد پیوند بین ذرات رس و سایر ذرات خاک باعث خاکدانه‌سازی و تشکیل ساختمان به‌خصوص در مناطق خشک که مواد آلی کم‌تری دارند می‌شوند (۸). بر اساس مدل مفهومی تیسدال و ادز (۱۹۸۲) کاتیون‌های چندظرفیتی از عوامل پیونددهنده دائمی در پایداری خاکدانه‌ها محسوب می‌شوند (۲۸). با افزایش غلظت نانواکسیدهای آلومینیوم و سیلیسیم، غلظت الکترولیت افزایش پیدا کرده و باعث هماوری و تشکیل خاکدانه‌های گشته است. یکی از عوامل دیگردر خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه نقش سطح ویژه ماده اصلاحی می‌باشد که هر دو ماده نانو دارای سطح ویژه بالایی هستند و به همین علت توانسته‌اند باعث پایدرای خاکدانه‌ها و ساختمان خاک شوند. مطالعات دیگری در این زمینه نشان داده است که وجود اکسیدهای خاک نقش مهمی در پیوند خاکدانه‌ها داشته و اکسید آهن و آلومینیم با داشتن سطح ویژه بالا توانسته‌اند ذرات رس را به هم پیوند دهند و سبب تشکیل خاکدانه‌های پایدار شوند (۲۸).



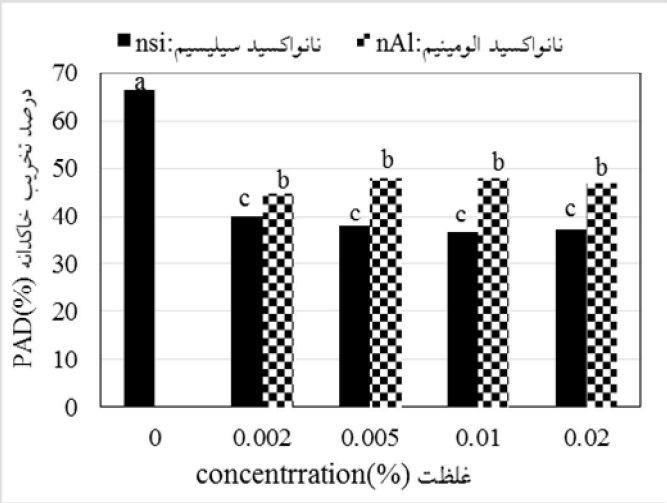
شکل ۳- اثرات متقابل غلظت و نوع مواد اصلاحی بر درصد تغییرات پایداری خاکدانه‌ها.

Figure 3. Interaction effects of concentration (%) and type of amendment on aggregate stability.

مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلافی ندارند.

Values that have same letters are not statistically difference at P<0.05.

تأثیر مواد اصلاحی بر درصد تخریب خاکدانه‌ها (PAD): نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف آزمایشی بر شاخص PAD در طول دوره آزمایش، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات تیمارهای مختلف بر شاخص PAD می‌باشد، به‌طوری‌که همه تیمارهای آزمایشی باعث کاهش شاخص PAD نسبت به شاهد شده‌اند (شکل ٤). بر اساس نتایج آزمون دانکن در بین تیمارهای مورد بررسی در هر سطح غلظت، کم‌ترین مقدار PAD مربوط به تیمارهای حاوی نانواکسید سیلیسیم است که در تمامی سطوح غلظتی، اختلاف آن‌ها با نانواکسید آلومینیوم معنی‌دار می‌باشد. بیش‌ترین مقدار PAD نیز مربوط به نمونه شاهد بود که با تمامی سطوح هر دو ماده اصلاحی دارای تفاوت معنی‌داری بود. مقدار PAD برای هر دو ماده اصلاحی با افزایش غلظت آن‌ها تغییر معنی‌داری نشان نداد. مقدار PAD نسبت به MWD همبستگی بیش‌تری به خواص فیزیکی و شیمیایی خاک دارد و هرچه مقدار آن کم‌تر باشد خاکدانه‌ها پایدارتر می‌باشند (۳۰). افزایش غلظت مواد اصلاحی در در هر دو ماده تغییر محسوسی در کاهش درصد تخریب نداشته است (بین ٤٢ تا ٤٦ درصد در نانواکسید سیلیسیم و ۲۷ تا ۲۹ درصد در نانواکسید آلومینیم). از آن‌جا که بین غلظت‌های مختلف نانواکسید سیلیسیم تفاوتی مشاهده نشد، بنابراین سطح ۰/۰۰۲ درصد نانواکسید سیلیسیم را می‌توان به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار با کم‌ترین میزان تخریب (PAD) در بین مواد اصلاحی معرفی نمود. از آن‌جا که نانواکسید سیلیسیم سطح ویژه بسیار بالاتری نسبت به نانواکسید آلومینیوم دارد کمپلکس پایدارتری نسبت به اکسید آلومینیم در تشکیل خاکدانه‌های پایدار در خاک ایجاد کرده است. البته با توجه به سطح ویژه و ظرفیت بالای هر دو ماده و به‌ویژه نانواکسید سیلیسیم (جدول ۱)، افزودن ۰/۰۰۲ درصد به خاک برای پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک کافی بوده و نشان‌دهنده این مطلب است که مواد حاوی سیلیسیم پایداری بیش‌تری نسبت به اکسید آلومینیوم ایجاد کرده است (۹).



شکل ٤- مقایسه اثرات متقابل غلظت و نوع مواد اصلاحی بر درصد تخریب خاکدانه‌ها.

Figure 4. Interaction effects of concentration (%) and type of amendment on percentage of aggregate destruction.

مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلافی ندارند.

Values that have same letters are not statistically difference at P<0.05.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر استفاده از نانواکسید آلومینیوم و نانواکسید سیلیسیم به‌عنوان اصلاح‌کننده بر ویژگی‌های MWD_{dry}، MWD_{wet}، AS و PAD به‌عنوان شاخص‌های پایداری خاکدانه در یک دوره زمانی ٤ ماهه بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که اضافه کردن تیمارهای مختلف نانواکسید آلومینیوم و نانواکسید سیلیسیم سبب افزایش میزان MWD_{dry}، MWD_{wet}، AS و کاهش مقدار PAD نسبت به شاهد شدند. از آن‌جا که PAD ترکیبی از MWD تر و خشک می‌باشند و تقریباً هر دو شاخص را لحاظ می‌کند در خاک‌های یکنواخت می‌تواند شاخص بهتری در رابطه با پایداری خاک باشد و چون نانواکسید سیلیسیم کم‌ترین مقدار PAD را دارا بود می‌توان گفت نانواکسید سیلیسیم با غلظت ۰/۰۰۲ درصد بهترین تیمار در کاهش تخریب ساختمان خاک می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش به نقش و اهمیت مواد نانو در اصلاح و بهسازی خاک‌ها تاکید دارد و با توجه به اهمیت و نقش پایداری خاکدانه‌های خشک و تر در کنترل فرسایش بادی و آبی خاک و به‌منظور کاربرد نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان سطح ۰/۰۲ درصد نانواکسید آلومینیم و ۰/۰۰۲ درصد نانواکسید سیلسیم را به‌ترتیب به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار برای بهبود ساختمان خاک و در نتیجه کنترل فرسایش بادی و آبی استفاده نمود. البته پژوهش‌های بیش‌تر، جهت استفاده از این مواد برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و حفاظت از خاک در مقابل عوامل تخریبی ضروری است.

منابع

1.Alimardani, A., Delavar, M.A., and Golchin, A. 2011. The effects of organic and inorganic materials on some physical properties of a sodic soil. J. Soil Manage. Sust. Prod. 1: 2. 21-38. (In Persian)

2.Bissonnais, Y.L.E. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. Europ. J. Soil Sci. 47: 425-437.

3.Boroghani, M., Mirnia, S.K., Vahhabi, J., Ahmadi, S.J., and Charkhi, A. 2011 Nanozeolite Synthesis and the Effect of on the Runoff and Erosion Control under. Austr. J. Bas. Appl. Sci. 5: 12. 1156-1164.
4.Boroghani, M., Hayavi, F., and Noor, H. 2012. Affectability of Splash Erosion by Polyacrylamide Application and Rainfall Intensity. Soil and Water Research. 7: 4. 159-165.
5.Daneshvar, S., Golchin, A., and Ahmadi, Sh. 2013. The effect of water soluble polymer, modified starch and nano clay with and without gypsum and aluminum sulfate on dispersible clay percentage in a sodic soil. J. Water Soil Cons. 20: 3. 261-267. (In Persian)
6.Eltaif, N.I., and Gharaibeh, M.A. 2008. Impact of alum on crust prevention and aggregation of calcareous soil: laboratory studies. Soil Use and Management. 24: 424-426.
7.Emami, H., and Astaraei, A.R. 2012. Effect of organic and inorganic amendments on parameters of water retention curve, bulk density and aggregate diameter of saline-sodic soil. J. Agric. Sci. Technol. 14: 1625-1636.
8.Goldberg, S., Suarez, D.L., and Glaubig, R.A. 1988. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid zone soils. Soil Science. 146: 317-325.
9.Gu, B., and Doner, H.E. 1993. Dispersion and aggregation of soils as influenced by organic and inorganic polymers. Soil Sci. Soc. Amer. J. 57: 709-716.
10.Hamidi Nehrani, S., and Vaezi, A.R. 2013. Effect of Polyvinyl Acetate on Hydraulic Conductivity, Runoff and Sediment Production in a Marl Soil. J. Water Soil. 27: 4. 792-801. (In Persian)
11.Hassani, A. 2005. The effect of silica and aluminum in amended on the consolidation of sand. J. Transport. 2: 3. 191-197. (In Persian)
12.Jozefaciuk, G., and Czachor, H. 2014. Impact of organic matter, iron oxides, alumina, silica and drying on mechanical and water stability of artificial soil aggregates. Assessment of new method to study water stability. Geoderma. 221-222: 1-10.
13.Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Size distribution of aggregates. P 425-442, In: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis Part 1, second ed., Agron. Monogr. 9. ASA-SSSA. Madison, WI.
14.Levin, J., Ben-Hur, M., Gal, M., and Levy, G.J. 1991. Rain Energy and Soil Amendments Effects on Infiltration and Erosion of Three Different Soil types. Austr. J. Soil Res. 29: 455-65.
15.Majeed, Z.H., and Taha, M.R. 2012. Effect of nanomaterial treatment on geotechnical properties of penang soft soil. J. Asi. Sci. Res. 2: 11. 587-592.
16.Majeed, Z.H., and Taha, M.R. 2013. A Review of stabilization of soil by using nanomaterials. Austr. J. Bas. Appl. Sci. 7: 2. 576-581.
17.Matichenkov, V.V., and Bocharinkova, E.A. 2001. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. Elsevier science B.V, Silcon in Agriculture. 13: 209-220.
18.Neyshabouri, M.R., Mirzajani, M., and Oustan, Sh. 2013. Effect of polyacrylamide and organic matter on three structure stability indices in two fine and medium textured soils under various wetting and drying cycles. J. Soil Water Sci. 22: 4. 161-172. (In Persian)
19.Oades, J.M. 1984. Soil organic matter and structure stability, mechanisms and implication for easurement. Plant Soil. 76: 319-337.
20.Ouhadi, V.R., and Goodarzi, A.R. 2006. Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum. Engineering Geology. 85: 91-101.
21.Piccolo, A., Pietramellara, G., and Mbagwu, J.S.C. 1997. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. Geoderma. 75: 267-277.
22.Smaei, H.R., Golchin, A., Mosadeghi, M.R., and Ahmadi, S.H. 2012. The Effects of Water Soluble Polymers on Physical Properties of the Soils with Different Texture in Hamedan. J. Water Soil. 26: 4. 809-817. (In Persian)
23.Sansom, J.J., Naeth, M.A., Chanasyk, D.C., and Bateman, J.C. 1998. In Situ Amelioration of Sodic minespoil with chemical amendments and crop management. II. Soil physical properties, soil moisture and plant growth. Can. J. Soil Sci. 78: 667-674.

24.Sepaskhah, A.R., and Shahabizad, V. 2010. Effects of water quality and PAM application rate on the control of soil erosion, water infiltration and runoff for different soil textures measured in a rainfall simulator. Biosystems engineering. 106: 513-520.
25.Taha, M.R. 2009. Geotechnical properties of soil-ball milled soil mixtures. Nanotechnology in Construction. 3: 377-382.
26.Taha, M.R., and Taha, O.M.E. 2012. Influence of nano-material on the expansive and shrinkage soil behavior. J. Nanopart Res. 14: 1190. 1-13.
27.Taipodia, J., Dutta, J., and Dey, A.K. 2011. Effect of nano particle of soil, Proceedings of Indian Geotechnical Conference, December 15-17, Kochi. (Paper No-A-218)
28.Tisdall, J.M., and Oades, J.M. 1982. Organic matter and water- stable aggregation by the root system of ryegrass. Austr. J. Soil Sci. Res. 18: 423-438.
29.Van Bavel, C.H.M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Science Society of America Procding. 14: 20-23.
30.Wang, F., Tang, Y.A., Zhang, J.S., Gao, P.C., and Coffie, J.N. 2013. Effects of various organic materials on soil aggregate stability and soil microbiological properties on the Loess Plateau Of China. Plant Soil Environ. 59: 4. 162-168.
31.Zhang, G. 2007. Soil nanoparticle and their influence on engineering properties of soil. GSP 173 Advances in Measurement and Modeling of Soil Behavior. 1-13. Denver, Colorado, United States, February 18-21.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(5), 2017
http://jwsc.gau.ac.ir

The effect of nanoparticles of Aluminum oxide and Silicon oxide on soil structural stability indices

N. Moradi[1], *H. Emami[2], A.R. Astaraei[2], A. Fotovat[3] and B. Ghahraman[4]

[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, [2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, [3]Professor, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, [4]Professor, Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 02/03/2016; Accepted: 06/19/2016

Abstract

Background and Objectives: Soil structure is the most important property which affects other soil properties such as erosion, water infiltration into soil. Application of soil conditioners is one way to improve soil physical properties. Nanoparticles are one of the newest materials that can influence the soil physical properties. The results of researchers show that application of nanomaterial affect soil mechanical properties (liquid and plastic limits). Therfore, the aim of this research was to study the effect of nanomaterials, including nano-silicon oxide ($nSiO_2$) and nano-Aluminum oxide (nAl_2O_3) on soil structural stability indicators.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of nano-aluminum oxide and nano-silicon oxide on structural stability indicators a silt loam soil was selected. The studied soil was collected from Agricultural Research Center of Khorasan Razavi province, was air dried and passed through 4.0-mm sieve. The experiment was conducted as a completely randomized design with 9 treatments and 3 replications. The studied treatments include control (without any amendment) nano-aluminum oxide (0.002, 0.005, 0.01 and 0.02% w/w) and nano-silicon oxide (0.002, 0.005, 0.01 and 0.02% w/w). After addition the different treatments to soil in boxes of 5 Kg, they were incubated for 4 months at moisture range from field capacity (FC) to 50% FC at 18-25 ^oC in greenhouse conditions. Then some soil structural stability indices including mean weight diameter of wet (MWD_{wet}) and dry (MWD_{dry}) aggregates, aggregate stability (AS) and percentage of aggregate destruction (PAD) were measured. Statistical analysis by one way analysis and comparison of means at $P<0.05$ by Duncan's test were performed in SPSS16.

Results: The results showed that application of amendments had a significant effect on structural stability indicators and addition of both nanomaterials to the soil increased MWD_{wet}, MWD_{dry} and AS and decreased PAD, siginificantly. The maximum value of MWD_{wet} and MWD_{dry} was obtained by application of 0.02% nano-aluminum oxide and by increasing the concentration of both nano materials MWD_{dry} and MWD_{wet} increasd. The minimum percentage of aggregate destruction (PAD) was obtained by application of 0.01% nano-silicon oxide and regard to PAD, there was no significant difference between the different concentrations of nano-silicon oxide.

Conclusion: According to the results of this research, application of nano-aluminum oxide and nano-silicon oxide improved structural stability and nano-silicon oxide was better than nano-aluminium oxide in decreasing the percentage of destruction aggregate.

Keywords: Soil amendment, Nano-aluminum oxide, Nano-silicon oxide, Aggregate stability

* Corresponding Author; Email: hemami@um.ac.ir