نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دهم، شماره یک، پاییز ۱۳۹۹

ISSN 2251-7480

تأثیر سه‌ساله نانوذرات آهن و منیزیم بر پایداری خاکدانه‌ها و برخی خصوصیات شیمیایی خاک

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

۱) دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۲) دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان

۳) دانشیار گروه علوم دامی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

* نویسنده مسئول مکاتبات: h.bayat@basu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵

چکیده:

اثرات کاربرد چند ساله نانوذرات بر خصوصیات خاک کم‌تر شناخته شده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر سه‌ساله نانوذرات بر پایداری خاکدانه‌ها و برخی خصوصیّات شمیایی خاک بوده است. برای این منظور مقادیر مختلفی از دو نوع نانوذره اکسید فلزی MgO و Fe_3O_4 (۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) 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 با بکاربردن نانوذره، پ‌اچ خاک از ۷/۷ در تیمار شاهد به ۸/۱ تا ۹/۳ و قابلیت هدایت الکتریکی از ۰/۳۱ در تیمار شاهد به ۰/۳۴ تا ۰/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. درصد کربنات کلسیم به سبب تجمع نانوذرات در خاک از ۱۹/۷۵ در تیمار شاهد به ۲۰/۵ تا ۲۲/۷ درصد افزایش یافت که در هر سه متغیر بیشترین افزایش مربوط به نانواکسید منیزیم ۵ درصد بود. نانواکسید آهن ۳ درصد وزنی موجب افزایش غیرمعنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی از ۲۳/۵۰ در تیمار شاهد به ۲۴/۲۸ سانتی‌مول بار برکیلوگرم خاک شد. همچنین نانو ذرات به سبب دارا بودن سطح ویژه زیاد، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را افزایش دادند که تأثیر نانو اکسید منیزیم (در مقایسه با شاهد از ۳۳ تا ۱۲۴۲ درصد افزایش) نسبت به نانواکسید آهن (در مقایسه با شاهد از ۹۷ تا ۱۷۳ درصد افزایش) بیشتر بود. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که نانوذرات با دارا بودن خواص فیزیکوشیمیایی خاص می‌توانند خصوصیات خاک را تحت تأثیر قرار دهند.

کلید واژه‌ها: ظرفیت تبادل کاتیونی؛ میانگین وزنی قطر خاکدانه؛ نانوذره اکسید آهن؛ نانوذره اکسید منیزیم

مقدمه

نانوتکنولوژی قادر به بهبود روش‌های ارزیابی، مدیریت و کاهش خطرات برای محیط زیست بوده و فرصت‌هایی را برای تولید محصولات جدید فراهم خواهد ساخت. علم نانوتکنولوژی توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید برای در دست گرفتن کنترل در سطوح مولکولی و اتمی، با استفاده از خواصی که در سطوح ظاهر می‌شود، را دارد (Andreta, 2003).

با پیشرفت علوم نانو فناوری، روش‌های استفاده از عنصر آهن نیز وارد مرحله جدیدی شد و آن به کارگیری

نانوذرات آهن است که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرارگرفته است. مطالعات نشان داده‌اند که نانوذرات آهن دارای ویژگی‌هایی مانند پتانسیل بالا برای کاربردهای مختلف، واکنش‌پذیری زیاد، سودمندی در هزینه‌ها، خصوصیات فیزیکوشیمیایی ویژه و آلودگی‌زدایی سریع در مقایسه با کاربردهای مرسوم ذرات آهن هستند. به همین دلیل به فراوانی در دفع آلاینده‌های آبی مختلف مانند هیدروکربن‌های هالوژن‌دار، ترکیبات نیتروآروماتیک، نیترات و یون‌های فلزی سنگین استفاده شده‌اند (Zhou *et al.*, 2010; Shi *et al.*, 2011). همچنین اثر تحریکی نانوذرات مهندسی شده، ممکن است با نقش یون‌های فلزی آزاد شده از نانوذرات مهندسی شده مرتبط باشد، که به‌دلیل عملکرد کاتالیزوری، ساختاری و تنظیمی آن‌ها در آنزیم‌ها برای رشد میکروارگانیسم‌ها ضروری هستند (Jośko *et al.*, 2019).

اکسید منیزیم یکی از مهم‌ترین اکسیدهایی است که از آن در کاربردهای مهم فناوری به‌دلیل پایداری شیمیایی (Luches *et al.*, 2005; Sojoudi and Mokhtary, 2018) استفاده می‌کنند. نانو اکسید منیزیم بدون بو و غیر سمی است و دارای سختی بالا، درجه خلوص بالا، نقطه ذوب بالا (Goh *et al.*, 2007) و قدرت جذب زیاد (Hua *et al.*, 2012) است. همچنین نانواکسید منیزیم دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای است، که این آثار را ناشی از ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال در سطح این ماده می‌دانند (Nawaz *et al.*, 2011).

پی-اچ خاک تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر قابلیت استفاده عناصر غذایی برای گیاهان و میکروارگانیسم‌ها دارد. در پژوهشی استفاده از پودر نانواکسید آهن به علت ماهیت اسیدی باعث کاهش pH[1] خاک آهکی مورد مطالعه شد (Ghodsi *et al.*, 2015; Mazaherinia *et al.*, 2010). در پژوهش شفاعی و همکاران (۱۳۹۱) به تأثیر نانوذرات آهن بر فراهمی فلزات سنگین پرداخته شده و تیمارهای دارای نانوذرات آهن pH خاک را کاهش دادند، ولی این کاهش چشم‌گیر نبود و در طول زمان نیز تغییر قابل توجهی نداشت. همچنین Taha and Taha (2016) گزارش کردند که افزودن نانو آلومینا و نانو مس باعث افزایش pH خاک می‌شوند که این افزایش برای نمونه‌های حاوی نانومس به‌دلیل افزایش غلظت یون‌های هیدروکسید بیشتر از نانوآلومینا بود و همچنین علت کمتر بودن نانو آلومینا این بود که نانوآلومینا یک ماده آمفوتریک است و این ماده می‌تواند با اسیدها و بازها واکنش نشان دهد و به عنوان یک اسید با باز و یک باز با اسید عمل کند و دیگری را خنثی کند. همچنین pH خاک با افزایش غلظت نانوذرات نقره نیز افزایش یافت (Samarajeewa *et al.*, 2017). محمدیون و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که pH خاک پس از شستشو با یک سیال نانو اکسید آهن در مقایسه با خاک قبل از شستشو افزایش یافته است.

هدایت الکتریکی خاک شاخصی از مقدار نمک‌های محلول خاک است (Bartlett and James, 1996). نانوذرات متفاوت با توجه به خصوصیات ذاتی خود می‌توانند باعث تغییر هدایت الکتریکی خاک شوند. نانو اکسید منیزیم با توجه به اینکه جزء کاتیون‌های قلیایی خاک است، می‌تواند با افزایش منیزیم در فاز محلول و تبادلی قابلیت هدایت الکتریکی را افزایش دهد. همچنین استفاده از نانواکسید آهن با افزایش در دسترس بودن مواد مغذی خاک، حلالیت ترکیبات معدنی و غلظت نمک‌های محلول باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک می‌شود (Ghodsi *et al.*, 2015).

گنجایش تبادل کاتیونی (CEC)[2] یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی و کلوئیدی خاک است. نانوذرات به سبب سطح ویژه بالایی که دارند می‌توانند باعث افزایش CEC خاک شوند (Dutta *et al.*, 2004; Savage and Diallo, 2005). نتایج تحقیقات Ben-Moshe و همکاران (2013) بر روی یک خاک آهکی نشان داد که نقطه با بار

[1] Potential of hydrogen

[2] Cation exchange capacity

صفر نانواکسید آهن (٦/٥) کمتر از pH خاک است و بنابراین دارای بار منفی است و می‌تواند یون مثبت را جذب کند. نانو اکسید مس نقطه با بار صفر (٩/٤) بالاتر از pH خاک دارد، بنابراین دارای بار مثبت بوده و به عنوان کاتالیزورهای جذبی خوب عمل نمی‌کند. مهدوی (۱۳۹۲) گزارش نمود که استفاده از نانو اکسید منیزیم سبب کاهش و نانو اکسیدآهن سبب افزایش CEC خاک شد. نانوذرات با مسدود کردن منافذ خاک و کاهش تخلخل خاک (Ben-Moshe *et al*., 2013) باعث افزایش کربنات کلسیم خاک می‌شوند.

با توجه به خصوصیات نانوذرات و از آنجایی که نانوذرات، به عنوان جاذب و واکنش دهنده‌های کارآمد در جهت کاهش آلاینده‌های آلی و معدنی مطرح هستند، با تأثیری که بر جوامع میکروبی خاک می‌گذارند، توانایی تغییر در میزان ماده آلی خاک را دارا هستند (Ben-Moshe *et al*., 2013). Ben-Moshe و همکاران (2013) گزارش کردند که افزودن نانوذرات اکسید آهن و مس تغییری در مقدار مواد آلی ایجاد نکرد.

ذرات نانو اغلب با یکدیگر هم‌آوری پیدا نموده و ذرات کلوئیدی و دانه‌های بزرگ‌تری را تولید می‌کنند که خصوصیات این ترکیبات جدید از لحاظ انتقال، واکنش‌پذیری و دیگر خصوصیات شیمیایی ممکن است با ذرات اولیه متفاوت باشد (Busscher *et al*., 2007). Barthès و همکاران (2008) بیان نمودند که رابطه نزدیکی بین پایداری خاکدانه‌های درشت با اکسیدهای آهن و آلومینیوم نسبت به سایر پارامترهای خاک به ویژه کربن آلی وجود دارد که بیانگر این می‌باشد که سزکوئی اکسیدها از فاکتورهای اصلی پایداری خاکدانه‌های درشت خاک هستند. Six و همکاران (2002) بیان نمودند وجود اکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاک سبب افزایش جذب سطحی مواد آلی بر روی سطح خاک می‌شوند، یا به صورت یک اتصال الکتریکی بین بارهای مثبت اکسیدها و بار منفی مینرالوژی رس‌ها قرار می‌گیرند و یا با ایجاد یک پوشش از این ترکیبات بر روی سطح کانی‌ها مانند یک پل بین ذرات اولیه و ثانویه خاک سبب اتصال ذرات خاک می‌شوند. نتایج تحقیقات نشان داده است که نانواکسید آهن تمایل شدیدی به ایجاد پیوند با ذرات رس خاک دارد و می‌تواند از طریق سیمانی کردن و جذب الکترواستاتیک باعث افزایش خاکدانه‌سازی شود (Schwertmann and Taylor, 1989). سطح ویژه زیاد ذرات نانو سبب به وجود آمدن انرژی بسیار قوی سطحی بین ذرات می‌شود، لذا خاصیت هم‌آوری بسیار بالایی دارند (Nanda *et al*., 2003) که می‌تواند بر بهبود پایداری ساختمان خاک مؤثر باشند. قدسی و همکاران (۱۳۹۰) دریافتند که نانواکسید آهن در ایجاد خاکدانه و پایداری ساختمان خاک بسیار مؤثر است. نتایج پژوهش‌های مرادی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که اضافه کردن نانواکسید آلومینیوم و نانواکسید سیلیسیم سبب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها می‌شود. همچنین Bayat و همکاران (2019) گزارش کردند که کاربرد نانواکسیدآهن در مقایسه با نانواکسید منیزیم و خاک بدون نانوذره باعث کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها می‌شود. بنابراین می‌توان انتظار داشت که کاربرد نانوذرات در خاک، با کاهش درز و شکاف‌ها و افزایش پیوند بین ذرات، پایداری خاکدانه‌ها را افزایش دهد. علاوه بر این، رفتار و تحولات نانوذرات در خاک به کمیت و کیفیت (طبیعی و ترکیب) مواد آلی، وجود کلوئیدهای خاک، مواد مغذی، pH، قدرت یونی و وجود کاتیون‌های خاک بستگی دارد (Oleszczuk *et al*., 2019).

با توجه به تأثیر بلند مدت نانوذرات بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک و لزوم بررسی آن، تاکنون اثر چند ساله نانواکسیدهای آهن و منیزیم بر پایداری خاکدانه‌ها و برخی پارامترهای شیمیایی خاک مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد سه‌ساله نانو اکسیدهای آهن و منیزیم بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD[1]) و

[1] Mean weight diameter

برخی خصوصیات شیمیایی خاک همچون pH، EC[1]، CEC، $CaCO_3$، OM[2] بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر سه‌ساله نانوذرات اکسیدآهن و منیزیم بر برخی خواص شیمیایی و پایداری خاکدانه‌ها یک نمونه خاک لومی، از روستای قیه علی بلاغ واقع در استان همدان از یک مزرعه با کشت غالب گندم، با موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه و ۲۶ ثانیه شمالی و ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه و ۱۴ ثانیه شرقی تهیه شد. نمونه‌برداری با اطلاع از خصوصیات خاک منطقه و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک انجام شد. نمونه خاک جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه فیزیک خاک دانشگاه بوعلی سینا منتقل شده و بعد از هوا خشک نمودن از الک ۴/۷۵ میلی‌متر عبور داده شد. فاکتورها شامل ذرات نانو در دو سطح (نانواکسید آهن، Fe_3O_4 و منیزیم، MgO) و سطح استفاده از نانوذرات در سه سطح (۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) بودند. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در مجموع ۲۱ نمونه آزمایشی طراحی گردید. نمونه‌های خاک بعد از اختلاط با نانوذرات آهن و منیزیم، در ظرف‌های پلاستیکی در شرایط آزمایشگاه (دمای اتاق) به مدت سه سال نگه‌داری شدند و در این بازه زمانی برای نزدیک کردن آن‌ها به شرایط مزرعه چرخه تر و خشک شدن برروی آن‌ها انجام گرفت. پس از گذشت ۳ سال نمونه‌های خاک از ظرف‌های پلاستیکی برداشته شده و بر روی آن‌ها ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، قابلیت هدایت الکتریکی، ماده آلی، کربنات کلسیم و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تعیین ویژگی‌های شیمیایی، نمونه‌های دست خورده خاک هوا خشک شده و سپس از الک ۲ و ۰/۵ میلی‌متر عبور داده شدند. گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات آمونیوم ۱ نرمال (Bower *et al*., 1952)، پ–اچ (pH) در عصاره ۱:۵ خاک به آب با استفاده از دستگاه پ–اچ سنج مدل ۷۴۴ شرکت متروم سوئیس (Thomas, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره ۱:۵ خاک به آب به کمک هدایت سنج الکتریکی مدل ۴۵۱۰ ساخت کشور بریتانیا (Rhoades, 1996)، مواد آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934) و مقدار کربنات کلسیم خاک به روش تیتراسیون برگشتی (Sims, 1996) اندازه‌گیری شد.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

برای بدست آوردن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (*MWD*) از روش کمپر و روزنا (Kemper and Rosenau, 1986) که مشابه روش یودر (Yoder, 1936) است، استفاده گردید. ابتدا نمونه‌های خاک هوا خشک از الک ۲ و ۴ میلی‌متری عبور داده شدند (یعنی خاکدانه‌ها دارای قطر ۲ تا ۴ میلی‌متر بودند) و در سری الک‌ها گذاشته شدند (W_1). اندازه سوراخ‌های سری الک‌ها از بالا به پایین ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر بود. دامنه حرکت عمودی در داخل آب ۲/۶ سانتی‌متر و با شدت نوسان ۳۰ دور در دقیقه برای مدت زمان ۱۲/۵ دقیقه درون سطل پر از آب با حرکت رفت و برگشتی الک شد. پس از پایان الک کردن، خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک به درون پتری دیش شسته شده و نهایتاً در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس وزن گردیدند (W_2). پس از وزن کردن هر سری از خاکدانه‌ها، درصد شن و سنگریزه آن‌ها با استفاده از همان الک اندازه‌گیری شد (W_3) و از وزن اولیه خاکدانه‌های روی هر الک کم گردید. وزن آب خاکدانه‌های هوا خشک با قرار دادن ۱۰ گرم از آن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری گردید و بر پایه gg^{-1} محاسبه شد (Wc). در پایان از فرمول زیر برای برآورد خاکدانه‌های پایدار در آب ($WSAi$) در هر اندازه بهره‌گیری شد.

[1] Electrical conductivity
[2] Organic matter

$$WSAi = (W_{2i} - W_{3i}) / (W_S - \sum W_{3i}) \quad (۱)$$

$$W_S = (W_1 / (1+W_c)) \quad (۲)$$

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} x_i WSA_i \quad (۳)$$

i: شاخص کلاس اندازه خاکدانه‌ها و n تعداد غربال که در این آزمایش ٤ الک به کار رفت، x_i میانگین قطر خاکدانه‌های به‌جا مانده بر روی هر الک که برابر با میانگین قطر روزنه‌های غربالی که خاکدانه‌ها بر روی آن به جا مانده و قطر روزنه غربال بالایی آن بود.

تجزیه واریانس‌ها و مقایسه میانگین با آزمون دانکن از طریق تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد بررسی قرار گرفت. همگنی واریانس‌ها در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از آزمون لون با یکدیگر مقایسه شدند. برای رسم نمودارها، از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی مورد ارزیابی خاک لومی آزمایش شده در این پژوهش شامل درصد مواد آلی و کربنات کلسیم خاک، قابلیت هدایت الکتریکی خاک بر حسب دسی‌زیمنس در متر، ظرفیت تبادل کاتیونی برحسب میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک و پی-اچ خاک بودند، که تجزیه واریانس، مقایسه میانگین و فرض‌های آماری بر روی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی داده‌ها و ارزیابی فرضیات آزمون

یکی از اولین و مهم‌ترین مراحل در طرح‌های متفاوت تحلیل واریانس، تصدیق صحت فرضیات آزمون می‌باشد. در واقع نتایج تحلیل واریانس وقتی می‌تواند قابل اعتماد ارزیابی شود که فرضیات زیربنایی (جدول ۱) آن فراهم گردد. متغیر وابسته یا آزمون می‌بایستی کمی، پیوسته و در مقیاس فاصله‌ای اندازه‌گیری شده باشد. همچنین علاوه بر این توزیع خطای متغیر وابسته نرمال یا تقریباً نرمال باشد. ضمن اینکه فرض می‌شود که هر گروه یک نمونه تصادفی مستقل از جمعیت نرمال باشد. در این تحقیق توزیع خطای متغیرها با استفاده از آزمون کولموگرف -اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به جدول ۱ از آن جایی که مقدار p-value برای تمامی متغیرها از ۰/۰۵ بیشتر است (و یا نزدیک به ۰/۰۵ بود)، نتیجه گرفته می‌شود که توزیع خطای متغیرها از لحاظ آماری نرمال می‌باشند. آزمون لون، آزمون همگنی واریانس‌ها می‌باشد و فرض تساوی واریانس متغیر وابسته را آزمون می‌کند و نسبت به اکثر آزمون‌ها، کمتر بر فرض نرمال بودن وابسته بوده و در واقع به انحراف از نرمال مقاوم است. نتایج آزمون لون در جدول ۱ نشان داده شده است. از آنجایی که آماره لون در همه واریانس‌های خطا دارای p-value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ و یا نزدیک به آن بود و هیچ‌کدام از پارامترها در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نشده است (و یا اینکه p-value نزدیک به ۰/۰۵ بود)، یعنی فرض تساوی واریانس‌ها پذیرفته می‌شود. ضریب چولگی برای تمامی پارامترهای شیمیایی در دامنه ۱ و ۱- و ضریب کشیدگی بین ۳ و ۳- است، پس خطای آزمایشی از این نظر نیز از توزیع نرمال پیروی می‌کند.

از طرفی یکی دیگر از فرضیات تجزیه واریانس داده‌ها این است که اشتباه آزمایشی مربوط به تکرارهای مختلف یک تیمار از هم مستقل باشند، بدین معنی که ارتباطی میان اشتباه آزمایشی در تکرارهای مختلف یک تیمار وجود نداشته باشد (Landau, 2004). برای بررسی این فرض در این پژوهش مقدار خطای استاندارد شده توسط نرم افزار SAS بدست آمد و در برابر تعداد نمونه رسم گردید. از آنجا که روند مشخصی در نمودارها ملاحظه نشد، فرض استقلال خطاها قابل پذیرش است (داده‌ها نشان داده نشده است).

جدول ۱. نتایج کفایت مدل برای برخی ویژگی‌های شیمیایی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

متغیر	چولگی	کشیدگی	خطا		آزمون لون
			p-value کلموگروف- اسپرونوف	p-value شاپیرو- ویلک	p-value
pH	-۰/۹۳۸۸۷	۱/۳۱۹۸۹۳	۰/۰۳٤٦	۰/۱٤۲۰	۰/۰٥۲٦
EC	-۰/۲۸۰٥٦	-۰/۰۱٥۸۸٦	>۰/۱٥۰۰	۰/۹۸۰۱	۰/۱۲۰۲
CEC	-۰/۰۹٤٦۷	۱/۹٤٥٤۲	۰/۱۲٦٥	۰/۱۲٦۸	۰/۰٤۱٦
$CaCO_3$	۰/٦۱۳۷۷	۱/۸٦۰۸٦	۰/۰٤۰۲	۰/۱۹۲٥	۰/۰٤۲۸
OM	۰/٦۷۰۰۱	۱/٤۱۱۹۰۳	>۰/۱٥۰۰	۰/۰۳٦۰	۰/۰٥۰٦
MWD	۰/۲۱۸٤۸۸	۰/۹۲٤۱۲۱	>۰/۱٥۰۰	۰/٦٥۸٦	۰/۰٦۳٤

pH: اسیدیته خاک، EC: قابلیت هدایت الکتریکی خاک، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، $CaCO_3$: کربنات کلسیم خاک، OM: ماده آلی خاک، *MWD*: میانگین وزنی قطر خاکدانه.

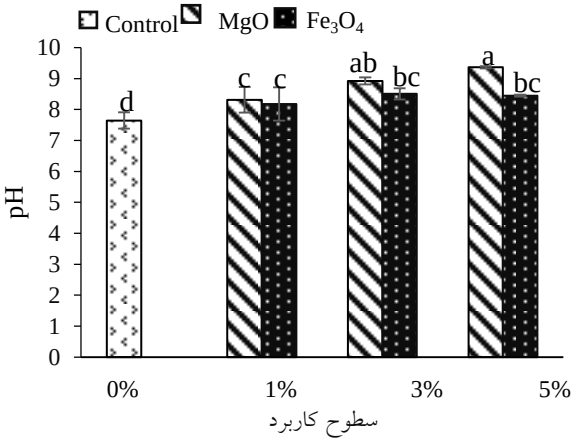
تأثیر نانوذره بر اسیدیته خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع نانوذره، سطوح کاربرد آن‌ها (۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) و تیمار بر اسیدیته خاک در سطح ۱ درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر تیمار بر مقدار اسیدیته خاک نشان داد که استفاده از نانو ذره منیزیم و آهن موجب افزایش پی-اچ خاک گردید و این افزایش در سطوح ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی نسبت به شاهد معنی‌دار بود (شکل ۱). همان‌گونه که پژوهش‌های پیشین نیز تأیید می‌نماید نسبت محلول به خاک پارامتر مهمی در انحلال‌پذیری کربنات‌ها است (Clark, 1964). همچنین سطح ویژه بالای نانوذرات باعث نگه‌داری رطوبت بیشتری می‌شود (Taha and Taha, 2016). پس از آنجا که حجم بیشتری از آب نگه‌داری شده توسط نانوذرات در واحد زمان با خاک در تماس است، این عامل باعث انحلال بیشتر کربنات‌های خاک، و در نتیجه بالا رفتن pH خاک می‌شود. افزایش کاتیون‌های بازی باعث افزایش pH خاک می‌شود (Hue, 1992). بنابراین علت افزایش pH خاک با افزایش نانو اکسید منیزیم را می‌توان به خصوصیت اصلاح کننده‌های حاوی منیزیم نسبت داد که با دارا بودن pH بالا و همچنین وجود کاتیون‌های قلیایی در مقادیر بالا می‌توانند سبب افزایش منیزیم تبادلی خاک شوند (Sposito,1994). یعنی انحلال منیزیم اکسید در خاک و وارد شدن آن به فاز محلول خاک با ایجاد یون هیدروکسیل باعث افزایش pH خاک می‌شود. در مقابل اثر قلیایت آهن به اندازه منیزیم نمی‌باشد، همچنین با pH پایین‌تر (Sposito,1994)، در تیمارهای حاوی نانواکسید آهن افزایش pH نسبت به تیمارهای حاوی نانواکسید منیزیم کمتر است. افزایش یون هیدروکسیل در محلول خاک باعث افزایش قلیایت در خاک می‌گردد (Troeh and Thompson,2005).

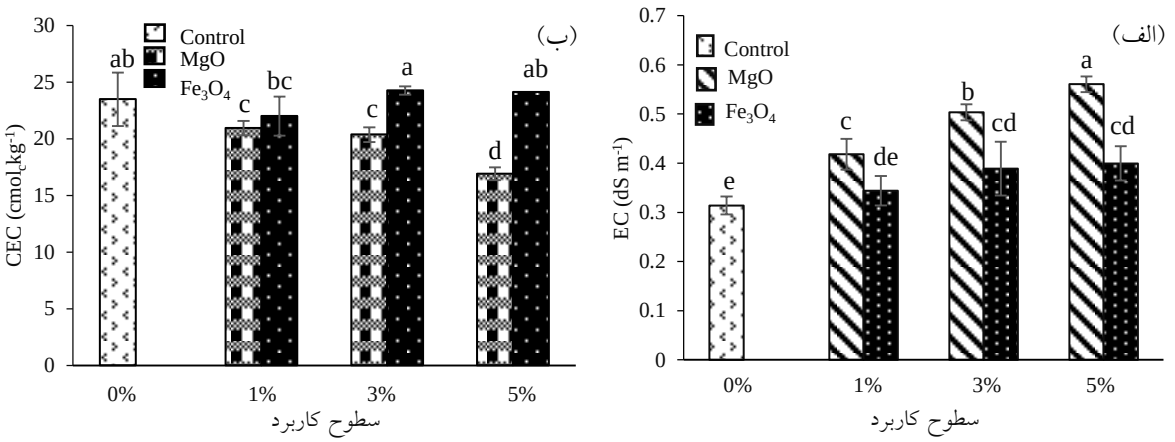
تأثیر نانوذره بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع نانوذره، سطوح کاربرد و تیمار در سطح ۱ درصد آماری بر هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار شد (جدول ۲). تیمارهای نانوذره (بجز تیمار ۱ درصد نانو اکسید آهن) باعث افزایش معنی‌دار قابلیت هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد (بدون نانوذره) شدند (شکل ۲. الف). آزادسازی عناصر قلیایی شامل نمک‌های سدیم، کلسیم،

منیزیم، کلرایدها، سولفات‌ها و کربنات‌ها، باعث افزایش شوری خاک‌های تیمار شده می‌شود (Zolfi-Bavariani *et al.*, 2016; Song and Guo, 2012) که این املاح شدیداً بر رشد گیاه و کاربری اراضی تأثیرگذار هستند. نانواکسید آهن ترکیبی از اکسیدهای آهن دو و سه ظرفیتی است، بنابراین از طریق ورود به فاز محلول خاک و همچنین با ایجاد شرایط مساعد برای انحلال برخی از عناصر و نانو اکسید منیزیم با افزایش منیزیم در فاز محلول و تبادلی قابلیت هدایت الکتریکی را افزایش داده‌اند. منیزیم دارای ضریب انحلال‌پذیری بیشتری نسبت به آهن است (Stumm, 1992). بنابراین علت افزایش بیشتر هدایت الکتریکی تیمارهای نانو اکسید منیزیم نسبت به نانو اکسیدآهن، انحلال‌پذیری بیشتر نانواکسید منیزیم است.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تیمارها بر پی-اچ خاک. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ در صد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

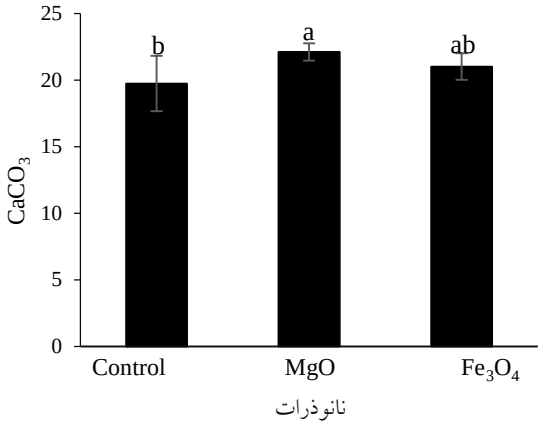


شکل ۲. مقایسه میانگین (الف) اثر تیمارهای مختلف بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک و (ب) اثر تیمارهای مختلف بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها در هر یک از نمودارها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

تأثیر نانوذره بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع نانوذره و برهمکنش بین نانوذره و سطوح کاربرد در سطح ۱ درصد آماری بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). سطوح ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی نانو اکسید منیزیم باعث کاهش معنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نسبت به شاهد (بدون نانوذره) و نانواکسید آهن شدند (شکل ۲. ب). نانواکسید آهن نیز تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت تبادل کاتیونی نسبت به شاهد نداشت (شکل ۲. ب). مواد آلی اهمیت فراوانی در افزایش گنجایش تبادل کاتیونی خاک دارند.

نانو اکسید منیزیم در مقادیر بالا می‌تواند با تشکیل کمپلکس بین منیزیم و ماده آلی باعث رسوب آن و در نهایت کاهش گنجایش تبادلی خاک شود، همچنین افزایش بیش از حد کربنات‌های کلسیم و منیزیم در خاک باعث احاطه و تثبیت مواد آلی به وسیله بخش جامد آن (کربنات کلسیم و منیزیم) شده و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک را نیز کاهش می‌دهند (Jacquin and Chouliaras, 1976)، بنابراین می‌توان انتظار داشت که افزایش نانواکسید منیزیم از تأثیر ماده آلی بر گنجایش تبادل کاتیونی کاسته است که این امر باعث کاهش CEC خاک گردیده است. احتمال دوم، تغییر ساختار کانی رس غالب خاک، در پی ورود منیزیم به آن است که به دلیل شعاع یونی کوچک‌تر نسبت به کلسیم اتفاق افتاده است و در عمل جایگزین آن شده است (Schofield, 1950) که باعث نزدیک شدن لایه‌ها به‌هم و کاهش سطح ویژه و به تبع آن کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌شود. از سوی دیگر تیمارهای نانو اکسید منیزیم با داشتن pH ۸ تا ۹/۵ که کمتر از نقطه بار صفر نانو اکسید منیزیم (ZPC=11) است، بار خالص مثبت وارد خاک کرده و باعث خنثی کردن بار منفی و در نتیجه کاهش گنجایش تبادل کاتیونی شده است. در مقابل نانواکسید آهن (ZPC=6.5) با وارد کردن بار منفی به خاک موجب افزایش غیرمعنی‌دار CEC خاک شده است (Sposito,1994).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر نوع نانوذره بر کربنات کلسیم خاک. 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 هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

تأثیر نانوذره بر مواد آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای نانواکسید بر مواد آلی معنی‌دار نشد (جدول ۲). این یافته‌ها با نتایج Ben-Moshe و همکاران (2013) و ولائی (۱۳۹۳) مطابقت داشت. ازطرفی ماده آلی در صورتی افزایش می‌یابد که یا از طریق تیمارها ماده آلی به خاک اضافه شود و یا اینکه گیاه یا موجود فتوسنتز کننده‌ای در خاک وجود داشته باشد (Rasse *et al.*, 2005). در صورتی که در خاک مورد مطالعه هیچ گیاه و موجود فتوسنتز کننده‌ای وجود نداشت تا فرآیند تجزیه یا افزایش ماده آلی اتفاق افتد. همچنین نانوذرات اضافه شده نیز دارای ماده آلی نبودند. در نتیجه منبعی برای افزایش ماده آلی در خاک وجود نداشت. همچنین اضافه کردن نانوذرات به خاک باعث رقیق شدن[1] خاک و تغییر میزان ماده آلی خاک می‌شود. به طوری که در سطوح پایین‌تر میزان کاهش غیر معنی‌دار ماده آلی کمتر بوده، ولی در سطوح بالاتر این کاهش بیشتر است. Ben-Moshe و همکاران (2013) گزارش کردند که نانوذرات بر کربن آلی

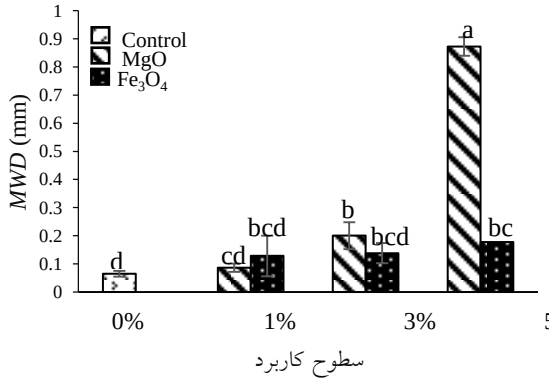
[1] Dilution

خاک تأثیر قابل توجهی ندارند، ولی با توجه به خصوصیات نانوذرات و از آنجایی که نانوذرات به عنوان جاذب و واکنش دهنده‌های کارآمد در جهت کاهش آلاینده‌های آلی و معدنی مطرح هستند و با تأثیری که بر جوامع میکروبی خاک می‌گذارند، توانایی تغییر در ماده آلی خاک را دارند.

پوشیده شدن مواد آلی با نانوذرات اکسید آهن و منیزیم در جهت غیرفعال‌سازی یا بی‌تحرک سازی آلاینده‌های آلی می‌تواند مؤثر باشد (Kabatia-Pendias and Pendias, 1992). فرآورده‌های گوناگون آهن، کلسیم، منیزیم و آلومینیوم‌دار جهت بی‌تحرک سازی آلاینده‌هایی مانند فسفر، کربن آلی و فلزات سنگین و نیز جهت پایدار کردن خاک و بهبود وضعیت تغذیه‌ای کاربرد دارند (Yu *et al*., 2003; Zhu and Alva, 1993).

تأثیر نانوذره بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع نانوذره، سطوح کاربرد و برهمکنش بین نوع نانوذره و سطوح کاربرد آن‌ها در سطح ۱ درصد آماری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سطح ۳ و ۵ درصد وزنی نانواکسید منیزیم و سطح ۵ درصد وزنی نانواکسید آهن باعث افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به شاهد شد (شکل ٤). علت افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با افزایش سطح نانواکسید را می‌توان به سطح ویژه بالای این ذرات مرتبط دانست که باعث به وجود آمدن انرژی بسیار قوی سطحی بین ذرات خاک شده است. لذا با ایجاد خاصیت هم‌آوری بسیار بالا، پایداری خاکدانه‌ها را افزایش دادند (Nanda *et al*., 2003). ذرات رس و نانوذرات اکسیدهای آهن و منیزیم در پایداری خاکدانه‌ها نقش بسزایی دارند و ذرات نانو به‌عنوان عامل پیوند دهنده بین ذرات رس می‌باشند. تأثیر منیزیم در افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها بیشتر به دلیل نقش منیزیم در هم‌آوری رس‌ها از طریق جایگزینی کاتیون منیزیم به‌جای کاتیون‌هایی مانند سدیم تبادلی است که باعث تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها بخصوص خاکدانه‌های کوچک می‌گردد (روستا و عنایتی، ۱۳۹۲). تأثیر تیمارهای منیزیم نسبت به آهن چشمگیرتر بود، به‌طوری‌که تفاوت آن‌ها در سطح ۵ درصد وزنی معنی‌دار شد. چراکه حفظ وضعیت و ماندگاری نانواکسید آهن تحت شرایط خاک بسیار کم است (Sun *et al*., 2007). بنابراین علت این کاهش را می‌توان به رسوب نانواکسید آهن به دلیل آهکی بودن خاک مورد مطالعه نسبت داد (Sparks, 2003) که از اتصال ذرات خاک به یکدیگر جلوگیری کرده و سبب افزایش ذرات ریز در خاک می‌شود. مرادی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که با افزودن نانواکسید آلومینیوم و سیلیسیم میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و در نتیجه پایداری ساختمان خاک افزایش یافته است که علت این افزایش را بروز واکنش شیمیایی و ایجاد پیوند بین نانوذرات و ذرات خاک دانستند. منیزیم با محدود کردن پراکندگی ذرات رس و پیوند ذرات خاک به یکدیگر به تشکیل خاکدانه کمک می‌کند، اما در برخی شرایط می‌تواند ساختار خاک را بی‌ثبات کند (Bayat *et al*., 2019).



شکل ٤. اثر تیمارهای مختلف بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها. 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 هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر نانوذرات اکسید آهن و منیزیم بر برخی خصوصیات یک خاک لومی سه سال بعد از اعمال تیمارها مورد بررسی قرار گرفت. به نظر می‌رسد نانوذرات بسیاری از خواص فیزیکی، شمیایی و بیولوژیک خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. با برآیندی از نتایج آزمایشات می‌توان گفت که نانواکسید منیزیم در مقادیر بالا با تشکیل کمپلکس بین منیزیم و ماده آلی باعث رسوب و کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی شد، درحالی‌که نانواکسید آهن باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی شده است. تأثیر متفاوت دو نانوذره در سطوح وزنی یکسان به علت خاصیت اسیدی نانواکسید آهن است. نانوذرات با دارا بودن سطح ویژه بسیار زیاد باعث نگه‌داری حجم رطوبت بیشتری می‌شوند که با انحلال کربنات‌ها باعث افزایش pH خاک شدند. این افزایش در تیمارهای حاوی نانواکسید آهن به علت خاصیت اسیدی این نانواکسید کمتر است. همچنین نانوذرات به علت آزادسازی عناصر قلیایی باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک شدند که این افزایش در تیمارهای حاوی نانواکسید منیزیم به علت ضریب انحلال‌پذیری بیشتر نسبت به آهن بیشتر است. اما نانوذرات تأثیر معنی‌داری بر مقدار ماده آلی خاک نداشتند. البته در این تحقیق عدم تأثیر نانوذرات بر ماده آلی خاک تحت شرایط بدون گیاه حاصل شد. شاید اگر مطالعه همراه کشت گیاه باشد، نانوذرات از طریق بهبود ساختمان خاک و برخی ویژگی‌های دیگر موجب تقویت رشد گیاه و افزایش مقدار ماده آلی در خاک شود.

استفاده از ۳ درصد وزنی نانوذره منیزیم باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شد. همچنین با افزودن ۳ درصد نانواکسید منیزیم پی-اچ خاک نسبت به ۵ درصد وزنی کمتر افزایش یافت. از طرفی ۳ درصد وزنی نانوذره منیزیم، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را به مقدار کمتری نسبت به شاهد کاهش داد، که در این حالت شرایط برای رشد گیاه مناسب‌تر است. درنتیجه علی‌رغم تأثیر بیشتر ۵ درصد وزنی نانواکسید منیزیم بر ساختمان خاک به‌علت تأثیر بهینه کاربرد ۳ درصد وزنی نانواکسید منیزیم بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و شرایط بهتر برای رشد و نمو گیاه این سطح به‌عنوان سطح بهینه توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

روستا، م. و عنایتی، ک. ۱۳۹۲. اثر اصلاح‌کننده آلی و معدنی بر میانگین وزن-قطر خاکدانه‌ها. پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). شماره ۹۸، صفحه‌های ۲٤ تا ۳۳.

سالاری، م، پنجه‌که، ن و کسرائی، س. ۱۳۷۸. نانوتکنولوژی و کاربرد آن در گیاه‌پزشکی. مجله گیاه‌پزشک و غذا، شماره ۳: ٤٥-۳٦.

شفاعی، ش، فتوت، آ و خراسانی، ر. ۱۳۹۱. مقایسه تأثیر نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و اکسیدهای آهن بر فراهمی فلزات سنگین در خاک آهکی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲٦، شماره ۳:۵۹٦-۵۸٦.

قدسی، ع. آستارایی، ع. امامی، ح. و میرزاپور، م. ۱۳۹۰. تأثیر نانو ذرات اکسید آهن و کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی بر غلظت عناصر کم مصرف در خاک‌های شور و سدیمی. صفحه‌های ۱ تا ۵. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران.

محمدیون، م، دهرآماز، ب، ساغروانی، س. ف، خدادادی دربان، آ. ۱۳۹٦. بررسی تأثیر شستشوی خاک توسط نانوذرات Fe_3O_4 در دو سامانه پیوسته و ناپیوسته بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و نانوسیال. مجله علمی-پژوهشی، مهندس عمران مدرس، دوره ۱۷، شماره ٤: ۲۱۲-۱۹۹.

مرادی، ن، امامی، ح، آستارایی، ع، فتوت، آ و قهرمان، ب. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر نانوذرات اکسید آلومینیوم و سیلیسیم بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد ۲۳، شماره ۵: ۲۶۵-۲۵۳.

مهدوی، ش. ۱۳۹۲. حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی و کاهش آبشویی و زیست‌فراهمی آن‌ها از خاک با استفاده از نانوذرات سنتزی. پایان‌نامه دکتری خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

ولائی پشوتن، س. ۱۳۹۳. تأثیر نانوذرات (اکسید آهن و منیزیم) بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان.

Barthès, B. G., Kouakoua, E., Larré-Larrouy, M. C., Razafimbelo, T. M., de Luca, E. F., Azontonde, A., and Feller, C. L. 2008. Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma*, *143*(1-2), 14-25.

Bartlett, R. and James, B. 1996. *Methods of Soil Analysis, Part 3-Chemical Methods.* In *Soil Science Society of America*, 683-701.

Bayat, H., Kolahchi, Z., Valaey, S., Rastgou, M., and Mahdavi, S. 2019. Iron and magnesium nano-oxide effects on some physical and mechanical properties of a loamy Hypocalcic Cambisol. *Geoderma*, *335*, 57-68.

Ben-Moshe, T., Frenk, S., and Dror, I., Minz, D., and Berkowitz, B. 2013. Effects of metal oxide nanoparticles on soil properties. *Chemosphere*, *90*(2), 640-646.

Bower, C. A., and Reitemeier, R. and Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, *73*(4), 251-262.

Busscher, W., Novak, J. and Caesar-TonThat, T. C. 2007. Organic matter and polyacrylamide amendment of Norfolk loamy sand. *Soil and Tillage Research*, *93*(1), 171-178.

Clark, J. 1964. An examination of the pH of calcareous soils. *Soil Science*, *98*(3), 145-151.

Colvin, V. L. 2003. The potential environmental impact of engineered nanomaterials. *Nature Biotechnology*, *21*(10), 1166-1170.

Dreher, K. L. 2004. Health and environmental impact of nanotechnology: toxicological assessment of manufactured nanoparticles. *Toxicological Sciences*, *77*(1), 3-5.

Dutta, P. K., Ray, A. K., Sharma, V. K., and Millero, F. J. 2004. Adsorption of arsenate and arsenite on titanium dioxide suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, *278*(2), 270-275.

Ghodsi, A., Astaraei, A. and Emami, H. 2015. Effects of nano iron oxide powder and urban solid waste compost coated sulfur on chemical properties of a saline-sodic soil. *Desert*, *20*(1), 39-46.

Goh, C., Gupta, M., Wei, J., and Lee, L. C. 2007. Characterization of high performance Mg/MgO nanocomposites. *Journal of Composite Materials*, *41*(19), 2325-2335.

Hoet, P. H., Brüske-Hohlfeld, I. and Salata, O. V. 2004. Nanoparticles–known and unknown health risks. *Journal of Nanobiotechnology*, *2*(1), 12.

Hua, M., Zhang ,S., Pan, B., Zhang, W., Lv, L., and Zhang, Q. 2012. Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: a review. *Journal of Hazardous Materials*, *211*, 317-331.

Hue, N. 1992. Correcting soil acidity of a highly weathered Ultisol with chicken manure and sewage sludge. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *23*(3-4), 241-264.

Jacquin, F.and Chouliaras, N. 1976. Evolution de la matière organique dans une rendzine et son interférence sur une classification génétique des humus. *Bull AFES*, *4*, 241-246.

Jośko, I., Oleszczuk, P., Dobrzyńska, J., Futa, B., Joniec, J., and Dobrowolski, R. 2019. Long-term effect of ZnO and CuO nanoparticles on soil microbial community in different types of soil. *Geoderma*, *352*, 204-212.

Kabatia-Pendias, A. and Pendias, H. 1992. Trace elements in soils and plants, CRC Press, Boca. *Raton, FL, USA*.78-226.

Kemper, W.and Rosenau, R. 1986. Aggregate stability and size distribution. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, *5*, 425-442.

Landau, S. 2004. *A Handbook of Statistical Analyses Using SPSS*: CRC.

Lindsay, W. L. 1979. *Chemical equilibria in soils*: John Wiley and Sons Ltd.

Luches, P., Benedetti, S., Liberati, M., Boscherini, F., Pronin, I. I., and Valeri, S. 2005. Absence of oxide formation at the Fe/MgO (0 0 1) interface. *Surface Science*, *583*(2-3), 191-198.

Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Fotovat, A., and Monshi, A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal*, *7*.

Nanda, K. K., Maisels, A., Kruis, F. E., Fissan, H., and Stapper, S. 2003. Higher surface energy of free nanoparticles. *Physical Review Letters*, *91*(10), 106102.

Nawaz, H., Solangi, B., Zehra, B., and Nadeem, U. 2011. Preparation of nano zinc oxide and its application in leather as a retanning and antibacterial agent. *Canadian Journal on Scientific and Industrial Research, 2*(4), 164-170.

Oleszczuk, P., Czech, B., Kończak, M., Bogusz, A., Siatecka, A., Godlewska, P., and Wiesner, M. 2019. Impact of ZnO and ZnS nanoparticles in sewage sludge-amended soil on bacteria, plant and invertebrates. *Chemosphere, 237*, 124359.

Rasse, D. P., Rumpel, C., and Dignac, M. F. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil, 269*(1-2), 341-356.

Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5 , 417-435.

Samarajeewa, A. D., Velicogna, J. R., Princz, J. I., Subasinghe, R. M., Scroggins, R. P., and Beaudette, L. A. 2017. Effect of silver nano-particles on soil microbial growth, activity and community diversity in a sandy loam soil. *Environmental Pollution, 220*, 504-513.

Savage, N. and Diallo, M. S. 2005. Nanomaterials and water purification: opportunities and challenges. *Journal of Nanoparticle Research, 7*(4-5), 331-342.

Sheikholeslami, R. 2005. Scaling potential index (SPI) for CaCO3 based on Gibbs free energies. *AIChE Journal, 51*(6), 1782-1789.

Schofield, R. 1950. Effect of pH on electric charges carried by clay particles. *European Journal of Soil Science, 1*(1), 1-8.

Schwertmann, U. and Taylor, R. M. 1989. Iron oxides. *Minerals in Soil Environments*, 1, 379-438.

Shi, L.-n., Zhang, X. and Chen, Z.-l. 2011. Removal of chromium (VI) from wastewater using bentonite-supported nanoscale zero-valent iron. *Water Research, 45*(2), 886-892.

Sims, J. T. 1996. Lime requirement. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, 5, 491-515.

Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., and Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil, 241*(2), 155-176.

Sojoudi, M. and Mokhtary, M. 2018. Efficient one-pot synthesis of 6-amino-4-aryl-5-cyano-2-methyl-4H-pyran-3-carboxylates catalyzed by nano MgO in water. *Quarterly Iranian Chemical Communication, 6*, 125-133.

Song, W. and Guo, M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 94*, 138-145.

Sparks, D. 2003. Chemistry of soil organic matter. *Environmental Soil Chemistry*, 75-113.

Sposito, G. 1994. *Chemical equilibria and kinetics in soils*. Oxford University Press on Demand.

Stumm, W. 1992. Chemistry of the solid-water interface. In: Wiley, New York.

Sun, Y.-P., Li, X.-Q., Zhang, W.-X., and Wang, H. P. 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, O. M. E. and Taha, M. R. 2016. Soil-water characteristic curves and hydraulic conductivity of nanomaterial-soil-bentonite mixtures. *Arabian Journal of Geosciences, 9*(1), 12.

Thomas, G. 1996. Soil pH and soil acidity. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, 5, 475-490.

Troeh, F. and Thompson, L. 2005. Soils and Soil Fertility (Vol. 489). New York, USA: Blackwell.

Vaseashta, A., Vaclavikova, M., Vaseashta, S., Gallios, G., Roy, P., and Pummakarnchana, O. 2007. Nanostructures in environmental pollution detection, monitoring, and remediation. *Science and Technology of Advanced Materials, 8*(1-2), 47-59.

Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science, 37*(1), 29-38.

Yoder, R. E. 1936. A Direct Method of Aggregate Analysis of Soils and a Study of the Physical Nature of Erosion Losses 1. *Agronomy Journal, 28*(5), 337-351.

Yu, J., Lei, T.-w., Shainberg, I., Mamedov, A. I., and Levy, G. J. 2003. Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum. *Soil Science Society of America Journal, 67*(2), 630-636.

Zhou, T., Li, Y. and Lim, T.-T. 2010. Catalytic hydrodechlorination of chlorophenols by Pd/Fe nanoparticles: comparisons with other bimetallic systems, kinetics and mechanism. *Separation and Purification Technology, 76*(2), 206-214.

Zhu, B. and Alva, A. 1993. Trace metal and cation transport in a sandy soil with various amendments. *Soil Science Society of America Journal, 57*(3), 723-727.

Zolfi-Bavariani, M., Ronaghi, A., Ghasemi-Fasaei, R., and Yasrebi, J. 2016. Influence of poultry manure–derived biochars on nutrients bioavailability and chemical properties of a calcareous soil. *Archives of Agronomy and Soil Science, 62*(11), 1578-1591.

ISSN 2251-7480

Three years effect of iron and magnesium nano-particles on the stability of aggregates and some soil chemical properties

Elahe Daraei[*1], Hossein Bayat[2*] and Pouya Zamani[3]

1) Ph. D. Student of Soil Science and Engineering, Bu-Ali Sina University
2) [*]Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Bu-Ali Sina University
* Corresponding author: h.bayat@basu.ac.ir
3) Associate Professor, Department of Animal Science, Bu-Ali Sina University

Received: 12-01-2020 Accepted: 26-07-2020

Abstract

Little is known about the long term effects of nanoparticles on soil properties. Therefore, the objective of this study was to investigate the three years effects of nanoparticles on aggregate stability and some of the soil chemical properties. Different amounts (1, 3 and 5 percentage by weight) of two types of nanoparticle of 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 investigated. The results showed that application of nanoparticles, increased the pH of the soil from 7.7 in the control to 8.1- 9.3 and the electrical conductivity from 0.31 in the control to 0.34 -0.56 dSm^{-1}, due to the increase in the alkali cations. The percentage of calcium carbonate increased from 19.75% in the control to 20.5-22.7% due to the accumulation of nanoparticles in the soil, with the highest increase in three variables with 5% magnesium nano oxide. 3% nano iron oxide significantly increased the cation exchange capacity from 23.50 in the control to 24.28 $cmol_c/kg_{soil}$. Also the nanoparticles increased the mean weight diameter, due to their high specific surface area, with the greater effect of magnesium nano oxide (increased from 33 to 1242 percentage compared to the control) than iron nano oxide (increased from 97 to 173 percentage compared to the control). In general, the results of this study showed that, nanoparticles with specific physico-chemical properties can affect some properties of soil.

Keywords: Cation exchange capacity; Iron nano oxide; Magnesium nano oxide; Mean weight diameter.