شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

دانشگاه زنجان، ۵ تا ۷ شهریور ۱۳۹۸

محور مقاله: فناوری نوین در علوم خاک

تأثیر بلند مدت نانوذرات آهن و منیزیم بر انتقال املاح در شرایط اشباع

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

[۱] دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

[۲] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

[۳] دانشیار گروه علوم دام دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

چکیده

خاک به دلیل اهمیت فزاینده در مسایل توسعه جهانی نظیر امنیت غذایی، تخریب زمین و ارائه خدمات اکوسیستمی اهمیّت دارد. همچنین به خاطر خاصیّت تصفیه کنندگی آن، به عنوان یکی از پالاینده‌های مهم طبیعت محسوب می‌شود. این خاصیّت خاک در اثر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن حاصل می‌گردد. از طرف دیگر در سال‌های اخیر رفتار نانوذرات و ویژگی‌های نانوذرات استفاده شده در محیط زیست مورد مطالعه قرارگرفته، ولی تأثیر آنها بر انتقال املاح در بلند مدت کمتر شناخته شده و تاکنون در هیچ تحقیقی بررسی نشده است. هدف این پژوهش بررسی تأثیر چند ساله نانوذرات بر انتقال املاح و پارامترهای آن بود. برای این منظور اثر دو نوع نانوذره اکسیدفلزی MgO و Fe_3O_4 در چهارسطح صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی در سه تکرار بر یک خاک لومی بعد از گذشت زمان سه سال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد نانوذرات بر انتشارپذیری تأثیر معنی‌داری نداشت. افزودن نانوذرات به خاک باعث کاهش رطوبت ناحیه ساکن و کاهش انتقال جرم بین دو ناحیه ساکن و روان شد. بنابراین نتایج این پژوهش نشان داد که نانوذرات بر انتقال املاح در خاک و پارامترهای آن مؤثر است.

کلمات کلیدی: ستون خاک اشباع، نانواکسید آهن، نانواکسید منیزیم.

مقدمه

در هزاره جدید بشر به‌طور جدی با چالش پاک‌سازی منابع طبیعی از جمله آب، هوا و خاک روبرو است. در این راستا دانشمندان کوشیده‌اند ضمن بهره‌گیری از فن‌آوری نو و بهینه، آثار سوء توسعه بر محیط زیست را کاهش داده و به حداقل برسانند. نانوفناوری از جمله مهم‌ترین این فناوری‌هاست که کاربردهای آن در همه‌جا با دوام و عمر بیشتر، مصرف انرژی پایین‌تر و خواص بهتر همراه است. علی‌رغم اینکه نانوذرات به‌طور طبیعی در محیط وجود دارند، می‌توان آن‌ها را تولید و یا طراحی کرد (Bhatt and Tripathi، ۲۰۱۱). بنابراین در مقایسه‌ی ذرات نانو با غیرنانو، نانوذرات نشان دهنده‌ی ذرات مهندسی شده با ویژگی‌های منحصر به فرد در ابعاد ۱۰۰-۱ نانومتر هستند (Auffan و همکاران، ۲۰۰۹).

انتقال املاح از نظر حرکت مواد غذایی به سمت سیستم ریشه گیاه و به دلیل طیف گسترده‌ای از آلاینده‌ها قابل اهمیّت است. به علت افزایش نگرانی‌ها در مورد آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آبشویی مواد شیمیایی به‌کار برده شده و مواد غذایی محلول، سرنوشت مواد محلول در خاک به‌طور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته‌است (Jalali and Rowell ، ۲۰۰۹). یکی از عوامل مهم در آلودگی خاک جابه‌جایی مواد محلول می‌باشد که توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Kolahchi and Jalali، ۲۰۰۷).

براساس اینکه یون مورد بررسی کاتیون و یا آنیون باشد، شدت حرکت آن متفاوت خواهد بود (Biggar and Nielsen، ۱۹۶۲). با استفاده از منحنی‌های رخنه می‌توان درجه اهمیّت هر یک از عوامل انتقال، پراکندگی، تبادل یونی و دفع یونی را در حرکت املاح به طور کیفی مشخص نمود (برزگر، ۱۳۸۳).

نانوذرات به دلیل اندازه کوچکشان، سطح ویژه بسیار بالائی را دارا می‌باشند. از این رو به‌طور فعالی با دیگر ذرات خاک واکنش می‌دهند (Zhang، ۲۰۰۷). به دلیل داشتن همین سطح ویژه بسیار بالا و بارهای سطحی، حتی در صورت استفاده بسیار کم از این ذرات در محیط خاک، رفتار فیزیکی-شیمیایی خاک را به طور بسیار ویژه و قابل توجه تحت تأثیر قرار می‌دهند (Zhang، ۲۰۰۷). نانوذرات قادر به جمع‌آوری آلاینده‌های خاک می‌باشند. همچنین انتقال و جابجایی آلاینده‌ها به ویژگی‌های خاک مانند شکل و اندازه ذرات و نوع مواد معدنی و دیگر خصوصیّات خاک بستگی دارد (Petosa و همکاران، ۲۰۱۰؛ Rajput و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به تأثیر نانوذرات بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک و به تبع آن اثر بر انتقال املاح در خاک، تأثیر نانوذرات در بلند مدت در خاک بر پارامترهای انتقال املاح مانند انتشارپذیری[۱] (λ)، رطوبت ناحیه‌ی ساکن (θ_{im})، ضریب انتقال جرم بین دو ناحیه ساکن و روان (α) تا

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

1- Dispersivity

کنون در هیچ تحقیقی مورد بررسی قرار نگرفته است. برهمین اساس هدف این تحقیق بررسی تأثیر بلند مدت دو نانواکسید Fe_3O_4 و MgO بر انتقال املاح با استفاده از ردیاب کلرید در شرایط جریان اشباع بود.

مواد و روش‌ها

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 موقعیّت 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 خصوصیّات خاک منطقه و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک انجام شد. نمونه خاک جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه فیزیک خاک منتقل شده و بعد از هوا خشک نمودن از الک ۴/۷۵ میلی‌متر عبور داده شد. خاک مورد مطالعه دارای بافت لومی (Sand= ۳۶۵؛ Silt= ۳۸۳ و Clay= ۲۵۲gkg^{-1}) با پی‌اچ قلیایی (۷/۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی در حد متوسط (۱۷/۰ $cmol_c kg^{-1}$ soil) و دارای ماده آلی (۱۱/۰ gkg^{-1}) کم بود. 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) بودند. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در مجموع ۲۱ نمونه آزمایشی طراحی گردید.

بعد از اعمال تیمارهای نانوذرات اکسید آهن و منیزیم به خاک با درصدهای تعیین شده، خاک‌های تیمار شده در جعبه‌های پلاستیکی به ابعاد ۶×۸×۱۴ سانتی‌متر نگه‌داری و به طور مرتب بر روی آن‌ها عمل تر و خشک شدن تا ۳۱ ماه انجام گرفت. بعداز گذشت زمان ۳۱ ماه برای آماده‌سازی ستون‌های خاک، از ستون‌هایی از جنس لوله پولیکا به قطر ۲ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. بعد از آماده سازی ستون‌های خاک، به طور مرتب بر روی آن‌ها عمل تر و خشک شدن به مدت ۵ ماه انجام گرفت. به این صورت که نمونه‌ها تا حد اشباع آبیاری می‌شدند و اجازه داده می‌شد تا حد رطوبت نقطه پژمردگی خشک شوند، سپس عمل آبیاری تکرار می‌شد. نمونه‌ها در مدت مذکور در دمای آزمایشگاه (۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد) نگه‌داری شدند.

آزمایش‌های آبشویی در شرایط جریان اشباع ماندگار انجام شد. برای ایجاد شرایط جریان اشباع ماندگار و ثابت ماندن شدت جریان ابتدا با محلول سولفات کلسیم (محلول زمینه) ۰/۰۱ مولار جریان ماندگار ایجاد شد، سپس غلظت ثابتی از کلرید پتاسیم (۰/۰۵ مولار) به عنوان محلول جایگزین کننده و به شکل پالسی به سطح ستون‌های خاک تحت شرایط جریان ماندگار با همان شدت جریان اعمال شد. حجم کلرید پتاسیم استفاده شده به‌عنوان پالس برای حالت اشباع ۰/۵ حجم منفذی (V_0) بود و بعد از اتمام پالس باز با همان محلول سولفات کلسیم جریان ماندگار تا پایان آزمایش، یعنی ۳ برابر حجم منفذی، آبشویی انجام شد. سپس غلظت آنیون کلر خروجی با استفاده از روش موهر (۱۸۵۵) بر روی نمونه‌های زه‌آب اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش منحنی‌های رخنه کلرید بر حسب غلظت نسبی کلرید (C/C_0) در برابر زمان تجمعی رسم شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای رسم منحنی‌های رخنه نیز از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ استفاده شد. همچنین برای مدل‌سازی حرکت کلرید و تعیین پارامترهای مدل از جمله انتشارپذیری (λ)، رطوبت ناحیه‌ی ساکن (θ_{im})، ضریب انتقال جرم بین دو ناحیه ساکن و روان (α) از نرم‌افزار HYDRUS-1D (Šimůnek و همکاران، ۲۰۰۵) استفاده شد. داده‌های مشاهده‌ای C/C_0 در برابر زمان تجمعی) با استفاده از مدل MIM برازش شد و برای بررسی تأثیر نانوذرات و سطوح کاربرد آن‌ها بر پارامترهای انتقال املاح در شرایط جریان اشباع در خاک تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد.

نتایج و بحث

انتشارپذیری[۲] (λ)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که در شرایط اشباع به علت کاهش اثر تیمارها بر ضریب انتشارپذیری با افزایش رطوبت همچنین جذب آب بیش‌تر به سبب کاربرد نانوذرات، هیچکدام از اثرات اصلی و برهمکنش معنی‌دار نشد. ضریب انتشارپذیری (λ) به عوامل مختلفی از جمله بافت، مقدار ناهمگنی خاک، شدت جریان آب در خاک، مقدار رطوبت، مقیاس پژوهش و غیره بستگی دارد. با توجه به اینکه از بین عوامل مؤثر بر ضریب انتشارپذیری تنها مقدار رطوبت تحت تأثیر نانو ذرات تغییر کرده و سایر عوامل ثابت هستند، بنابراین این ضریب تغییر معنی‌داری در بین تیمارها نداشت. چرا که ضریب انتشارپذیری در خاک‌های درشت بافت اغلب کمتر از خاک‌های ریز بافت و در خاک‌های همگن کمتر از خاک‌های ناهمگن است (عباسی، ۱۳۸۶)، ولی در این تحقیق بافت خاک در بین تیمارها ثابت بود. به عبارتی مقدار ضریب انتشارپذیری نشانه فاصله طی شده توسط املاح است (Tan و همکاران، ۲۰۱۴). سطح مقطع قابل

2-Dispersivity

دسترسی برای انجام انتشار املاح بستگی به مقدار آب خاک دارد. زیرا انتشار در محیط آبی به مراتب بیش‌از انتشار در هوا می‌باشد، در نتیجه با افزایش رطوبت خاک سرعت انتشار افزایش می‌یابد (برزگر،۱۳۸۹). از طرفی باکاهش رطوبت، ضریب انتشارپذیری افزایش می‌یابد.

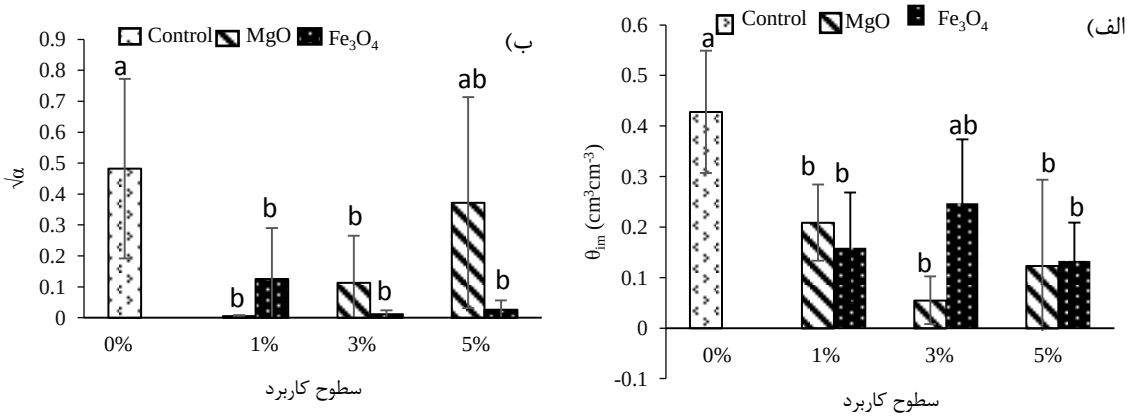
جدول ۱- جدول نتایج تجزیه واریانس پارامترهای آبشویی کلرید در شرایط جریان اشباع.

منابع تغییرات	درجه آزادی	P-value			
		λ	θ_{im}	$\sqrt{\alpha}$
نوع نانوذره	۱	۰/۵۲۰۴^{ns}	۰/۳۴۴۵^{ns}	۰/۲۴۱۲^{ns}
سطوح کاربرد	۲	۰/۴۶۷۹^{ns}	۰/۶۸۴۱^{ns}	۰/۳۸۶۲^{ns}
نوع نانوذره × سطح کاربرد	۲	۰/۷۹۱۸^{ns}	۰/۱۷۷۹^{ns}	۰/۱۴۱۴^{ns}
تیمار	۶	۰/۵۹۳۶^{ns}	۰/۰۲۲۹*	۰/۰۴۲۲*

θ_{im}: رطوبت غیرمتحرک (ساکن)، α: ضریب انتقال جرم بین دو ناحیه ساکن و روان، λ: ضریب انتشارپذیری. ns ، * و ** به‌ترتیب نشان دهنده عدم تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد و تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

رطوبت ناحیه‌ی ساکن (θ_{im})

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۱) که تأثیر نوع نانوذره، سطوح کاربرد (۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) و برهمکنش بین نوع نانوذره و سطوح کاربرد بر رطوبت ناحیه ساکن معنی‌دار نشد، ولی تأثیر تیمار بر آن در سطح ۵ درصد آماری در شرایط اشباع معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که سطح ۱ و ۵ درصد وزنی نانواکسید آهن و منیزیم و همچنین سطح ۳ درصد وزنی نانواکسید منیزیم باعث کاهش معنی‌دار رطوبت ناحیه‌ی ساکن نسبت به شاهد شدند (شکل ۱- الف). دو ناحیه رطوبتی کاملاً متمایز در خاک وجود دارد (ناحیه روان و ناحیه ساکن). در ناحیه روان حرکت املاح تحت تأثیر دو عامل انتقال و پراکندگی می‌باشد و ناحیه ساکن ناشی از انتشار مولکولی است (برزگر، ۱۳۸۹). مقدار رطوبت ناحیه‌ی ساکن بسته به ساختار منافذ و نیز درجه اشباع می‌باشد (Teixeira و همکاران، ۲۰۱۴). حرکت آب و در نتیجه انتقال املاح در بخش روان سریع است، ولی انتقال املاح از بخش روان به بخش ساکن و یا برعکس از طریق پخشیدگی است و در نتیجه بسیار کند است. سطح ویژه زیاد نانوذرات سبب به‌وجود آمدن انرژی بسیار قوی سطحی بین ذرات می‌شود، لذا خاصیّت هماوری بسیار بالای (Nanda و همکاران،۲۰۰۳) نانوذرات باعث تشکیل خاکدانه و بهبود ساختمان خاک می‌گردد و در طی آن حجم منافذ درشت افزایش و منافذ ریز کاهش یافته و همچنین پیوستگی بین منافذ افزایش می‌یابد (Taipodia و همکاران، ۲۰۱۱)، و مقدار رطوبت ساکن کمتر از خاک بدون نانوذره می‌شود. نتایج این پژوهش برخلاف نتایج Tan و همکاران (۲۰۱۶) می‌باشد. آن‌ها دریافتند که نانوذرات نانوکربن منافذ بیشتری را ایجاد می‌کنند و با میکروپورها مسیرهای پیچیده‌تری را برای انتقال به‌وجود می‌آورند که حرکت آهسته‌تر آب را ایجاد می‌کنند و باعث افزایش رطوبت ناحیه ساکن نسبت به ناحیه روان می‌شوند.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر الف) رطوبت ناحیه‌ی ساکن در حالت اشباع ب) ضریب تبادل جرم بین دو ناحیه‌ی ساکن و روان در حالت اشباع. در هر شکل 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.

ضریب انتقال جرم بین دو ناحیه‌ی ساکن و روان (α)

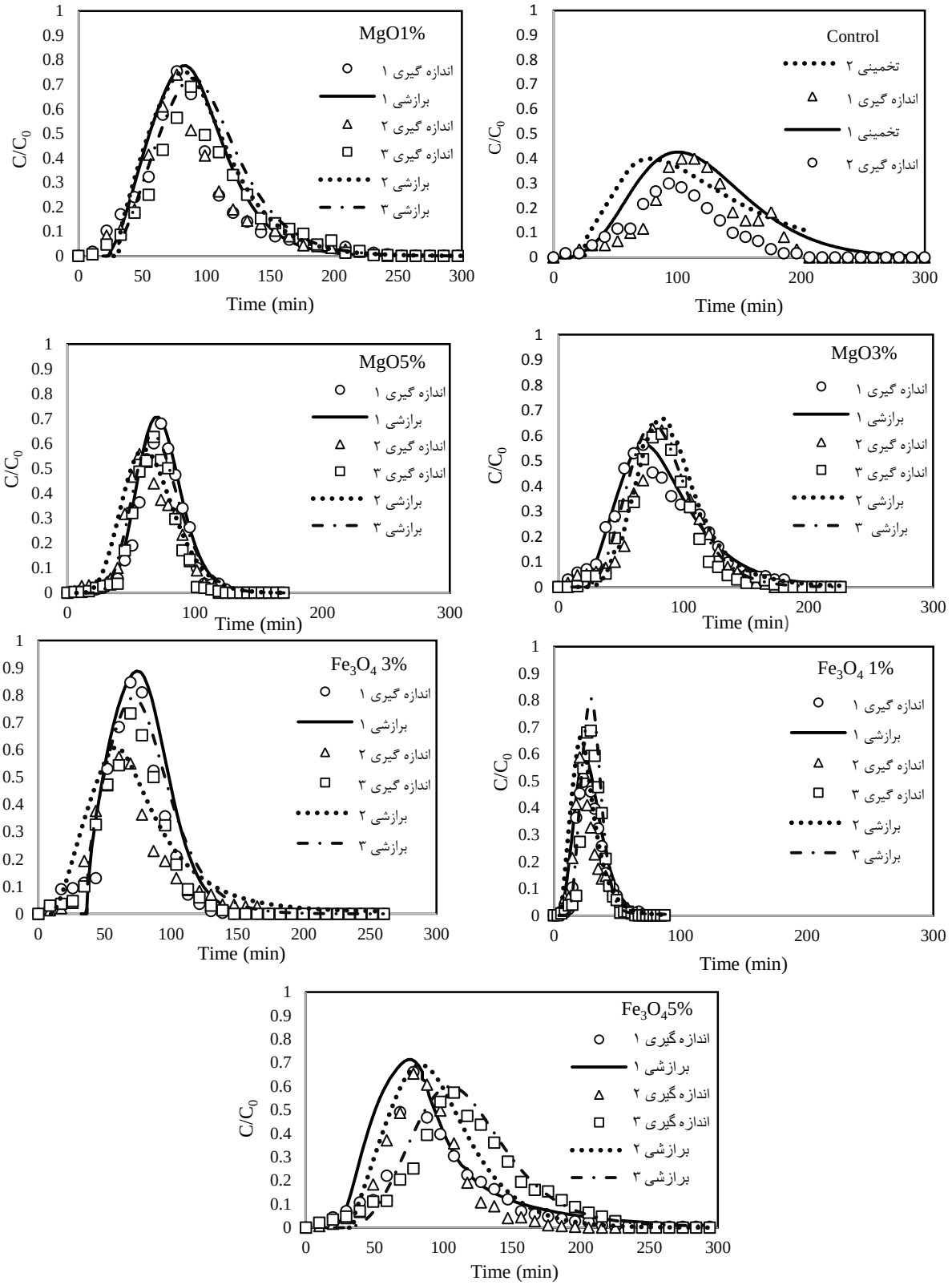
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع نانوذره، سطح کاربرد (۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) و برهمکنش بین نوع نانوذره و سطح کاربرد بر ضریب انتقال جرم بین دو ناحیه‌ی ساکن و روان در شرایط اشباع معنی‌دار نشد (جدول ۱). ولی تأثیر تیمار در سطح ۵ درصد آماری بر ضریب تبادل جرم بین دو ناحیه‌ی ساکن و روان در شرایط اشباع معنی‌دار شد. در سطوح کاربرد، فقط سطح ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی نانوذرات هستند ولی در تیمار، سطح صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد بودند (۷ تیمار). به همین علت علی‌رغم اینکه اثر سطوح معنی‌دار نبود، ولی اثر تیمار معنی‌دار بود. یعنی تفاوت معنی‌دار بین شاهد و سایر تیمارها وجود داشت.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که سطح ۱ و ۳ درصد وزنی نانواکسید آهن و منیزیم و همچنین سطح ۵ درصد وزنی نانواکسید آهن باعث کاهش معنی‌دار ضریب انتقال جرم بین دو ناحیه‌ی ساکن و روان نسبت به شاهد شدند (شکل ۱- ب). نانوذرات با هماوری بین ذرات خاک باعث تشکیل خاکدانه، بهبود ساختمان خاک و ایجاد منافذ پیوسته می‌شوند (Igwe and Mbagwu، ۱۹۹۵) و در نتیجه آن باعث افزایش شدت جریان می‌گردند. افزایش سرعت آب و املاح در منافذ بین خاکدانه‌ای باعث می‌شود که تبادل املاح بین دو ناحیه روان و ساکن به علت کاهش زمان ماندن کلرید در خاک به مقدار کمتری انجام گرفته و در نتیجه مقدار ضریب انتقال جرم بین ناحیه‌ی ساکن و روان کاهش یابد (Ersahin و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین وقتی غلظت املاح در خلل و فرج درشت کمتر از غلظت املاح در ناحیه ساکن شود، انتشار املاح از ناحیه ساکن به ناحیه روان صورت می‌گیرد (برزگر، ۱۳۸۹). Armstrong و همکاران (۱۹۹۴)، Bajracharya and Barry (۱۹۹۷) گزارش کردند که ضریب انتقال جرم وابسته به ارتباط بین دو ناحیه، حجم و هندسه منافذ و سرعت آب متحرک می‌باشد.

نتایج مدل‌سازی با HYDRUS-1D برای حرکت کلرید در شرایط اشباع

برازش مدل MIM بر داده‌های منحنی‌های رخنه کلرید در دو تیمار نانواکسید آهن و منیزیم در چهار سطح صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی در سه تکرار در شرایط اشباع در شکل۲ نشان داده شده است. اکثراً منحنی‌های رخنه چولگی به سمت چپ دارند، که نشان‌دهنده جریان ترجیحی است. به‌همین‌علت از مدل MIM استفاده شد. از طرف دیگر، در برازش مدل به داده‌های تجربی هدف رسیدن به بالاترین دقت و بهترین برازش می‌باشد و معمولاً معادله‌ای انتخاب می‌شود که بالاترین دقت برازش را داشته باشد. در منحنی‌های رخنه بدست امده در این تحقیق مدل MIM دقت بالاتری نسبت به CDE داشت. بنابراین از این نظر نیز مدل MIM ترجیح داده می شود.

افزایش مقدار نانوذره منیزیم به کاربرده شده در شرایط اشباع باعث افزایش پیک غلظت منحنی نسبت به شاهد شده که در سطح ۳ درصد وزنی نانواکسید منیزیم کمترین افزایش را داشته است و باعث کاهش زمان پیک و متمایل شدن منحنی به سمت چپ شده است. همچنین افزایش سطح کاربرد نانواکسید آهن در شرایط اشباع باعث افزایش پیک غلظت منحنی رخنه و افزایش زمان اوج منحنی نسبت به شاهد شده است (شکل ۲). ظهور زود هنگام کلرید در زه‌آب خروجی به دلیل نقش مؤثر جریان‌های ترجیحی در این تیمارها بود.



شکل ۲- منحنی های رخنه کلرید و منحنی‌های برازش شده بر آن با نرم‌افزار HYDRUS-1D در شرایط اشباع. Control، شاهد؛ MgO1%، MgO3%، MgO5% به ترتیب نشان دهنده نانواکسید منیزیم در سطح ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی؛ Fe_3O_4 1%، $Fe_3O_4$3%، $Fe_3O_4$5% به ترتیب نشان دهنده نانواکسید آهن در سطح ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر دو نانوذره اکسید فلزی MgO و Fe_3O_4 در چهار سطح بر انتقال املاح در شرایط جریان اشباع در یک خاک لومی بعد از گذشت زمان سه سال مورد پژوهش و بحث قرار گرفت. طبق مطالعاتی که انجام شد به نظر می‌رسد نانوذرات بر بسیاری از خواص فیزیکی، شیمیایی و انتقال املاح خاک تأثیر می‌گذارند، که در طی زمان این تأثیرات تشدید می‌شود. نتایج آزمایش‌های ستونی نشان داد که سطح ویژه زیاد نانوذرات سبب به‌وجود آمدن انرژی بسیار قوی سطحی بین ذرات می‌شود، لذا خاصیّت هماوری بسیار بالای نانوذرات باعث تشکیل خاکدانه و بهبود ساختمان خاک می‌گردد و در طی آن حجم منافذ درشت افزایش و منافذ ریز کاهش یافته و همچنین پیوستگی بین منافذ افزایش می‌یابد و مقدار رطوبت ناحیه ساکن تیمارهای ۱ و ۵ درصد وزنی نانواکسید آهن و منیزیم و ۳ درصد وزنی نانواکسید منیزیم کمتر از خاک بدون نانوذره می‌شود. در نتیجه‌ی بهبود ساختمان خاک و ایجاد منافذ پیوسته، جریان افزایش یافته و با افزایش سرعت آب و املاح در بین منافذ بین خاکدانه‌ای، تبادل املاح بین دو ناحیه روان و ساکن به علت کاهش زمان ماندن کلرید در خاک، در تیمارهای ۱ و ۳ درصد وزنی نانواکسید آهن و منیزیم و ۵ درصد نانواکسید آهن کمتر صورت می‌گیرد.

نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که اضافه کردن نانواکسید آهن و منیزیم ممکن است به عنوان یک روش برای بهبود ساختمان خاک و در نتیجه‌ی آن انتقال نمک و آلودگی ها در خاک در نظر گرفته شود. مطالعات بیشتری برای تعیین اثرات بالقوه قابل توجه نانوذرات بر ویژگی‌های انتقال املاح در خاک‌های مختلف و در شرایط مختلف برای تعیین مقدار بهینه نانوذرات برای جلوگیری از آسیب‌های محیطی مود نیاز است.

منابع

برزگر، عبدالرحمن (۱۳۸۳) " فیزیک خاک". انتشارات دانشگاه شهید چمران. ۲۵۷-۱.

برزگر، عبدالرحمن (۱۳۸۹) " فیزیک خاک پیشرفته". انتشارات دانشگاه شهید چمران. ۴۱۷-۱.

عباسی، فریبرز (۱۳۸۶) "فیزیک خاک پیشرفته" انتشارات دانشگاه تهران. ۲۵۰-۱.

Auffan, M., andRose, J., andBottero, J.-Y., andLowry, G. V., andJolivet, J.-P., andWiesner, M. R. (2009). Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective. *Nature nanotechnology*, *4*(10), 634.

Bhatt, I., andTripathi, B. N. (2011). Interaction of engineered nanoparticles with various components of the environment and possible strategies for their risk assessment. *Chemosphere*, *82*(3), 308-317 .

Biggar, J. W., & Nielsen, D. R. (1962). Miscible Displacement: II. Behavior of Tracers 1. *Soil Science Society of America Journal*, *26*(2), 125-128.

Igwe, C., and Mbagwu, J. (1995). Physical properties of soils of southeastern Nigeria and the role of some aggregating agents in their stability. *Soil science*, *160*(6), 431-441 .

Jalali, M., and Rowell, D. (2009). Potassium leaching in undisturbed soil cores following surface applications of gypsum. *Environmental geology*, *57*(1), 41-48.

Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. *Methods of soil analysis: part 1—physical and mineralogical methods*, (methodsofsoilan1), 687-734.

Kolahchi, Z., and Jalali, M. (2007). Effect of water quality on the leaching of potassium from sandy soil. *Journal of arid environments*, *68*(4), 624-639.

Nanda, K., and Maisels, A., andKruis, F., andFissan, H., andStappert, S. (2003). Higher surface energy of free nanoparticles. *Physical review letters*, *91*(10), 106102.

Rajput, V. D., Minkina, T. M., Behal, A., Sushkova, S. N., Mandzhieva, S., Singh, R., ... & Movsesyan, H. S. (2018). Effects of zinc-oxide nanoparticles on soil, plants, animals and soil organisms: a review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *9*, 76-84.

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).

Tan, S., and Zhou, B., and Wang, Q. (2014). Effect of nano-carbon on water infiltration process in disturbed loessal soil. *Acta Pedologica Sinca*, *51*(3), 263-269 .

Tan, S., and Zhou, B., and Wang, Q. (2016). Effects of nanocarbon on the hydraulic parameters and the solute transport process for disturbed loessial soil. *Arabian Journal of Geosciences*, *9*(1), 4.

Teixeira, W. G., and Ceddia, M. B., andOttoni, M. V., andDonnagema, G. K. (2014). *Application of Soil Physics in Environmental Analyses*: Springer.

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).

The long - term effect of magnesium and iron nanoparticles on solute transport in saturated condition

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

[1.] Associate Professor, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University

[2.] Phd. Student of Soil Science, Bu-Ali Sina University

[3.] Associate Professor, Department of Animal Science, Bu-Ali Sina University

Abstract

Soil is regarded as an important resource due to the increasing importance of global development issues such as food security, land degradation and ecosystem services. It is also considered to be one of the most important aspects of nature due to its refining properties, which are results of the physical, chemical and biological properties of the soil. On the other hand, in recent years, the behavior and properties of nanoparticles used in the environment have been studied. However, knowledge on their effects on the solute transport in the long term is still limited and they have not been investigated in any study, so far. The aim of this study was to investigate the multi- year effect of nanoparticles on the solute transport and their parameters. Different amounts (0, 1, 3 and 5 percentages 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 were investigated after three years. The results showed that the application of nanoparticles had no significant effect on dispersivity. Addition of nanoparticles to the soil, resulted in the reduction of immobile water content of the soil and a decrease in the mass transfer coefficient between the tow areas. The results of this study showed that the nanoparticles affected the solute transport and its parameters in the soil.

Keywords: Iron oxide nanoparticles, Magnesium oxide nanoparticles, Saturated soil column.