

## شبیه‌سازی انتقال سدیم و نیترات در خاک اصلاح شده با ورمی کمپوست تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

حسین باقری<sup>1</sup> و حمید زارع ایبانه<sup>2\*</sup>

تاریخ دریافت: 1395/9/13 تاریخ پذیرش: 1396/2/3

### چکیده

شبیه‌سازی حرکت نیترات و سدیم در خاک طبیعی و اصلاح شده با ورمی کمپوست تحت سه شدت جریان مختلف در حالت اشباع و غیراشباع انجام شد. برای این منظور از 12 ستون 10 سانتی‌متری خاک در لوله‌های پلیکا به طول 20 سانتی‌متر و قطر 5/9 سانتی‌متر استفاده شد. تمامی ستون‌ها به مدت 24 ساعت تحت شرایط اشباع قرار گرفتند و 24 ساعت نیز با آب مقطر آبخوبی شدند. سپس محلول 1 میلی مول پتاسیم نیترات و 25/42 میلی‌گرم سدیم کلرید در هر لیتر آب مقطر در سه شدت جریان مختلف به مدت 270 دقیقه به درون ستون‌ها تزریق و ضمن انجام آبخوبی 300 دقیقه‌ای، مقادیر نیترات و سدیم محلول‌های خروجی در بازه‌های زمانی مختلف اندازه‌گیری شد. برای شبیه‌سازی انتقال املاح از مدل انتقال-انتشار استفاده شد و ضرایب انتشارپذیری و توزیع سدیم و نیترات به روش معکوس برآورد گردید. رخنه سدیم در ستون‌های خاک طبیعی و خاک ورمی کمپوست‌دار تحت شرایط اشباع در شدت جریان 0/0704 سانتی‌متر بر دقیقه در 280 و 160 دقیقه، در شرایط غیراشباع با شدت جریان 0/0477 سانتی‌متر بر دقیقه به ترتیب در 330 و 200 دقیقه رخ داد اما در شرایط غیراشباع با شدت جریان 0/0208 سانتی‌متر بر دقیقه، رخنه سدیم شکل نگرفت. رخنه نیترات از خاک طبیعی در شدت جریان‌های 0/0704، 0/0477 و 0/0208 سانتی‌متر بر دقیقه به ترتیب در 80، 120 و 200، 270 دقیقه به حداکثر غلظت نسبی رسید. رخنه نیترات در خاک ورمی کمپوست‌دار تحت شدت جریان‌های 0/0704، 0/0477 و 0/0208 سانتی‌متر بر دقیقه به ترتیب در 30، 40 و 80 دقیقه شروع و حداکثر غلظت نسبی در 80، 120 و 240 دقیقه مشاهده شد. نتایج نشان داد کاربرد ورمی کمپوست و افزایش شدت جریان آب‌خاک، زمان رخنه سدیم و نیترات و زمان به حداکثر رسیدن غلظت نسبی نیترات را کاهش داد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد ضرایب انتشارپذیری و توزیع سدیم و نیترات با افزودن ورمی کمپوست به خاک و کاهش شدت جریان افزایش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** انتقال املاح، جذب خطی، ضریب انتشارپذیری، مدل انتقال-انتشار، منحنی رخنه

### مقدمه

نیترات در بخش ریزدانه ساختمان خاک توسط هربل و اسپالدینگ (Herbel and Spalding., 1993)، جذب نیترات در خاک در اثر رقابت با دیگر آنیون‌ها توسط بهاتاگار و همکاران (Bhatnagar et al., 2008) و کاهش تحرک پذیری نیترات به دلیل وجود مواد آلی در خاک توسط پانوسیو و همکاران (Panuccio et al., 2001) گزارش شده است. لذا بررسی قدرت و سرعت انتقال نیترات در محیط خاک و آبخوبی آن از محیط ریشه می‌تواند چشم‌اندازی به آلودگی منابع آب، کاهش راندمان مصرف کود و افزایش هزینه‌های اقتصادی خرید و تامین کود باشد. مرادزاده و همکاران (1392) افزایش قدرت جذب نیترات به‌واسطه کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک را پیشنهاد دادند. چرم و صادق‌زاده (1383) در بررسی اثر تخلخل بر انتقال املاح بیان داشتند افزایش تخلخل درشت موجب افزایش آبخوبی نیترات و افزایش تخلخل ریز موجب کاهش تحرک‌پذیری آن در خاک می‌گردد. لئارتز و همکاران در بررسی توام کود آلی و شرایط رطوبتی خاک به این نتیجه رسیدند که کاهش رطوبت خاک موجب کاهش تحرک برمید و کاربرد مواد آلی در برخی حالات موجب کاهش زمان

نیترات و ترکیبات نیتروژن‌دار از جمله آلاینده‌های نگران‌کننده در حوزه سلامت جوامع بشری هستند که به‌دلیل آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و محصولات کشاورزی به‌واسطه مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، همواره مدنظر پژوهشگران بوده‌اند (فاضلی و همکاران، 1390). نیترات یکی از معروف‌ترین شکل‌های نیتروژن و جز عناصر ضروری برای رشد و افزایش عملکرد گیاهان می‌باشد (پیرزاد و همکاران، 1392) که به‌علت واکنش کم با ساختمان خاک قدرت انتقال بالایی در منطقه ریشه دارد (Lehmann and Schroth., 2003). در عین حال مواردی از حبس و ماندگاری یون

1- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان  
2- دانشیار آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان  
(\*) ایمیل نویسنده مسئول: (Email: zare@basu.ac.ir)

پرداخته شد. استفاده از مقیاس آزمایشگاهی به دلیل رویکرد کشاورزی دقیق از دیدگاه مدیریتی و لزوم اجرای مدل‌های شبیه‌ساز در مقیاس خیلی کوچک می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق نمونه‌خاک مورد نظر از لایه 0-20 سانتی متری زمین‌های زراعی حاشیه رودخانه فصلی دانشگاه بوعلی سینا جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند. مقدار 1/45 درصد وزنی ورمی کمپوست به نمونه خاک هوا خشک اضافه شده و به‌طور یکنواخت با آن مخلوط گردید. برخی خصوصیات ورمی کمپوست مورد استفاده، خاک طبیعی و خاک ورمی کمپوست‌دار در جدول 1 ارائه شده است. درصد اندازه ذرات خاک به‌روش هیدرومتر، چگالی ظاهری به‌روش سیلندر، تخلخل از رابطه نسبت چگالی ظاهری به چگالی واقعی ذرات اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی، pH، سدیم و نیترات محلول در نسبت خاک به آب 1-5 به ترتیب با EC متر، pH متر، نورسنج شعله ای و طیف‌سنج نوری تعیین شد. برای اندازه‌گیری ماده آلی و کربن آلی از روش والکی-بلک<sup>1</sup> و جهت تعیین نیتروژن محلول ورمی کمپوست از روش کج‌لدال استفاده شد (Carter and Gregorich., 2008). برای تعیین کل املاح محلول خاک (TDS) رابطه  $TDS(mg/l) = 524.86 \times EC(ds/m)$  مورد استفاده قرار گرفت که 524/86 ثابت تبدیل دستگاه می‌باشد.

### آماده نمودن ستون‌ها و آبشویی

آزمایش‌ها در ستون‌های خاک به‌طول 10 سانتی‌متر، جاسازی شده در لوله‌هایی از جنس پلی وینیل کلراید (PVC) به‌طول 20 سانتی‌متر و قطر 5/95 سانتی‌متر صورت گرفت. انتهای هر ستون با یک توری سیمی و کاغذ صافی با قطر 10 میکرون مسدود شد تا از خروج ذرات خاک در حین آزمایش جلوگیری شود. هم‌زمان با پر نمودن ستون‌ها و به‌منظور اطمینان از خروج حباب‌های هوای محبوس شده در ستون‌های خاک، جریان آرام آب از زیر ستون به سمت بالا برقرار گردید و ستون‌ها به مدت 24 ساعت تحت شرایط اشباع قرار گرفتند. ضمن آن که در زمان خاک‌ریزی با ایجاد لرزش‌های آرام سعی شد تا توزیع ذرات خاک درون ستون یکنواخت گردد. سپس با برقراری جریان اشباع آرام از روی ستون، عملیات آبشویی اولیه با آب مقطر به مدت 24 ساعت صورت گرفت. شدت جریان آبشویی به کمک بطری ماریوت تنظیم و ارتفاع آب روی خاک به این منظور حدود 8 سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

رنه شده است (Lennartz et al., 2007).

یکی دیگر از عناصر مورد توجه در اراضی کشاورزی سدیم است که در برخی حالات جایگزین پتاسیم قابل مصرف گیاهان شده (صوفی و جانمحمدی، 1388) و مقادیر زیاد آن سبب پراکندگی رس‌ها و کلوئیدها، کاهش قدرت هوادهی، کاهش نفوذپذیری و زهکشی خاک و افت عملکرد محصولات می‌شود (Halliwell et al., 2001). برای اصلاح خاک‌های سدیمی افزودن انواع اصلاح‌کننده‌ها نظیر گچ توصیه می‌شود اما در هر صورت، خروج سدیم از پروفیل خاک نیاز به انجام عملیات آبشویی دارد. گودی و همکاران حرکت سدیم در خاک را تحت تاثیر عوامل مختلفی از قبیل تخلخل درشت و متوسط سرعت حرکت آب در خاک دانستند (Godoy et al., 2015). وبر و همکاران در بررسی عناصر واکنشی بیان داشتند حضور مواد آلی در محیط خاک با برقراری ارتباط بین ماتریکس خاک و کاتیون‌ها موجب جذب بیشتر و کاهش آبشویی آن‌ها می‌شود (Weber et al., 2007). در همین زمینه لنارتز و همکاران کاهش رطوبت خاک را دلیلی بر افزایش جذب عناصر واکنشی برشمردند (Lennartz et al., 2007).

اگر چه املاح سدیم و نیترات همواره در محیط خاک وجود دارد اما کاربرد موادی نظیر ورمی کمپوست ضمن افزایش مقدار این عناصر در خاک سبب تغییر خصوصیات ساختمانی و شیمیایی خاک و قدرت انتقال این عناصر می‌شود. ورمی کمپوست نوعی کود آلی پرکاربرد است که فرآیند هوموسی شدن آن در خاک سریع و به‌تبع سرعت تولید خاکدانه در محیط خاک را افزایش می‌دهد (باقری و افراسیاب، 1394). هم‌چنین ورمی کمپوست حاوی عناصر مغذی فراوانی می‌باشد که موجب استفاده بیش‌تر آن در کشاورزی شده است (Roy et al., 2010).

به منظور آگاهی از پتانسیل جابجایی عناصر مختلف در محیط خاک در چند دهه اخیر برنامه‌ها و مدل‌های مختلف شبیه‌ساز انتقال املاح بکار گرفته شده است که در این بین برنامه Hydrus، ارائه شده توسط موسسه Pc-Progress کاربرد و توسعه بیش‌تری داشته است. این برنامه در سه نسخه یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی می‌باشد که ابراهیمیان و همکاران با فرض یک بعدی بودن جریان آب در اکثر روش‌های آبیاری نظیر آبیاری کرتی، نواری، سیستم‌های بارانی (Ebrahimian et al., 2012) و تافته و سپاسخواه به‌علت ساده‌گی کار (Tafteh and Sepaskhah, 2012) کاربرد نسخه یک بعدی آن را بیشتر توصیه کردند. این برنامه قادر به شبیه‌سازی انتقال رطوبت، حرارت و املاح در محیط متخلخل می‌باشد و می‌تواند به‌روش حل معکوس ضرایب انتقال را برآورد نماید (Simunek et al., 1998).

با توجه به مطالب فوق، در این مطالعه ضمن انجام آبیاری با شدت جریان‌های مختلف تحت شرایط رطوبتی اشباع و غیراشباع به بررسی قدرت انتقال نیترات و سدیم و تعیین ضرایب انتقال آن‌ها در خاک طبیعی و اصلاح شده با ورمی کمپوست در مقیاس آزمایشگاهی

جدول 1- برخی ویژگی‌های ورمی کمپوست و خاک‌های مورد تحقیق

ویژگی	اندازه ذرات (%)	بافت	pH تخلخل	ماده آلی	نیترژن محلول (%)	کربن آلی	EC (dS/m)	چگالی ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	نیترات محلول	سدیم محلول (mg/l)	کل املاح محلول
ورمی کمپوست	-	-	7/5	43/63	0/012	25/31	9/34	0/48	-	1310/80	4902/12
خاک طبیعی	-	-	8/10	54/49	-	0/93	1/27	1/206	9/33	6/03	666/57
خاک ورمی کمپوست دار	17/4	23/4	59/6	57/77	-	1/05	2/66	1/199	34/93	10/88	1396/13

## آزمایش انتقال

بعد از اتمام عملیات آبخوبی با آب مقطر، نسبت به انجام آزمایش انتقال با تزریق محلول ساخته شده با ترکیب زیر در محیط ستون خاک عمل شد. محلول حاصل حل 1 میلی مول پتاسیم نیترات (ملکوتی، 1393) و 25/42 میلی گرم سدیم کلراید در یک لیتر آب مقطر بود که مقدار EC و pH آن به ترتیب 0/3 و 7/01 به دست آمد. عملیات انتقال در خاک طبیعی و ورمی کمپوست دار تحت

سه شدت جریان مختلف از محلول فوق در دو وضعیت رطوبتی اشباع و غیراشباع صورت گرفت. شدت جریان اشباع 0/0704 سانتی متر بر دقیقه و شدت جریان در دو حالت غیراشباع به میزان 67/76 و 29/54 درصد از حالت اشباع لحاظ شد. به منظور اطمینان از نتایج، آزمایش‌ها مطابق تحقیقات مشابه در دو تکرار انجام شد (Bejat et al., 2000). در جدول 2، اطلاعات کلی مربوط به شرایط آزمایش آورده شد.

جدول 2- شرایط ایجاد شده برای آزمایش

تیماز	وضعیت رطوبتی	متوسط شدت جریان (cm/min)	متوسط رطوبت خاک (%)
اشباع	0/0704±0/0027	58/32±0/8	
خاک طبیعی	غیر اشباع	0/0477±0/0027	57/41±0/8
	غیر اشباع	0/0208±0/0027	54/83±0/8
	اشباع	0/0704±0/0027	58/32±0/8
خاک دارای ورمی کمپوست	غیر اشباع	0/0477±0/0027	57/41±0/8
	غیر اشباع	0/0208±0/0027	54/83±0/8

تحلیل شد.

## شبیه‌سازی

به منظور شبیه‌سازی حرکت رطوبت خاک از شکل ماتریکی معادله جریان یکنواخت آب خاک در نرم افزار Hydrus-1D در قالب معادله ریچاردز به صورت رابطه 1 استفاده گردید.

$$\frac{\partial \theta(h)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(h) \left( \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

در این رابطه، z جهت جریان رطوبت (L)، t زمان (T)، h پتانسیل ماتریک (L) و  $\theta$  مقدار رطوبت (L<sup>3</sup>.L<sup>-3</sup>) می‌باشد. برای حل معادله 1، مشخصات هیدرولیکی خاک شامل هدایت هیدرولیکی اشباع به روش آزمایشگاهی بار ثابت و منحنی رطوبتی به وسیله دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد (Carter and Gregorich., 2008). ضرایب منحنی رطوبتی معلوم-ون گنوختن (1980) مطابق روابط 2 و 3 به روش حل معکوس در برنامه RETC تعیین گردید.

در مجموع آزمایشات شامل سه مرحله آبخوبی اولیه، تزریق محلول (انتقال) و آبخوبی مجدد بود. آزمایش شامل دو گام زمانی تزریق املاح به مدت 270 دقیقه و 300 دقیقه آبخوبی مجدد پس از تثبیت مقدار نیترات خروجی از ستون خاک در حد مقدار نیترات تزریقی به ستون خاک انجام شد. بدین ترتیب طول زمان آزمایش انتقال و آبخوبی مجدد 570 دقیقه بود. نمونه‌گیری از محلول خروجی ستون‌ها در گام‌های زمانی مختلف پس از شروع آزمایش انتقال صورت گرفت. گام‌های زمانی بین 2 دقیقه در ابتدای آزمایش، براساس تغییرات زیاد میزان خروجی املاح از ستون خاک تا 30 دقیقه در انتهای آزمایش به واسطه کاهش میزان تغییرات املاح لحاظ شد. میزان سدیم محلول‌های خروجی با دستگاه نورسنج شعله‌ای (مدل جی 405 عقربه‌ای، شرکت فاطر الکترونیک) و مقادیر نیترات آن‌ها با طیف‌سنج نوری (مدل Cary 100, Varian) اندازه‌گیری شد. برای هر ستون خاک، دو منحنی رخنه سدیم و نیترات به تفکیک دو خاک طبیعی و ورمی کمپوست دار تحت شرایط اشباع و غیراشباع ترسیم و

**بحث و نتایج**

نتایج جدول 1 نشان داد کاربرد ورمی کمپوست سبب تغییر جزئی در چگالی ظاهری خاک و کاهش 0/6 درصدی آن شد اما تاثیری بر بافت خاک نداشت. علت عدم تغییر بافت خاک این است که در طی اندازه‌گیری آن مقدار ماده آلی حذف شده و از بخش ذرات جامد معدنی خاک، بافت تعیین می‌گردد (Carter and Gregorich., 2008). باقری و افراسیاب افزایش هدایت هیدرولیکی و کاهش چگالی ظاهری خاک دارای ورمی کمپوست نسبت به خاک طبیعی را نیز گزارش نمودند (Bagheri and Afrasiab., 2013). مطالعات نشان داده تاثیر بیش تر ورمی کمپوست در کاهش چگالی ظاهری به واسطه بهبود وضعیت فیزیکی و خاکدانه‌سازی در زمان‌های طولانی تر می‌باشد (احمدآبادی و همکاران، 1390). با توجه به بافت درشت خاک و زمان کوتاه حضور ورمی کمپوست در محیط خاک مورد آزمایش، انتظار بر آن است که این اصلاح‌کننده تاثیر کمی در بهبود ساختمان خاک داشته باشد. لذا خاکدانه‌سازی جزئی انجام گرفته در شرایط مختلف رطوبتی نتوانسته است ذرات درشت خاک را به هم پیوند دهد. نتایج حاصل از پژوهش اصغری و همکاران (1389) نیز این مسئله را تایید نمود. ضمن آن که مقدار پایین چگالی ظاهری ورمی کمپوست و تخلخل بیش تر آن نسبت به خاک طبیعی نیز می‌تواند دلیلی بر کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل خاک ورمی کمپوست‌دار باشد. این تغییرات بزرگ تر شدن برخی مسیرهای حرکت آب در خاک و افزایش تعداد آن‌ها را موجب شد که افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ورمی کمپوست‌دار را در پی داشت (جدول 1). این نتیجه با یافته‌های باقری و افراسیاب نیز همخوانی داشت (Bagheri and Afrasiab., 2013). به‌علاوه مقادیر زیاد کربن آلی، نیتروژن، سدیم و TDS در ورمی کمپوست (جدول 1) موجب افزایش مقادیر کربن و ماده آلی، نیترات و سدیم محلول، EC و TDS خاک ورمی کمپوست‌دار شده و طی عمل نیتروژن‌زایی و تولید پروتون‌ها، pH این خاک را کاهش داده که با نتایج دیگر مطالعات مطابقت دارد (Srikanth et al., 2000; Jalali and Arfania., 2010).

مقادیر ضرایب منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی خاک برای مدل ون‌گنوختن در جدول 3 آمده است.

**جدول 3- ضرایب رطوبتی ون گنوختن**

تیمار	$K_s$	$\theta_s$	$\theta_r$	$n$	$\alpha$
واحد	( $cm \cdot min^{-1}$ )	( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ )	(-)	(-)	(-)
خاک طبیعی	0/076	0/579	0/114	2/417	0/016
خاک ورمی کمپوست‌دار	0/139	0/587	0/128	2/508	0/023

مطابق نتایج جدول 3 کاربرد ورمی کمپوست سبب افزایش تمامی ضرایب هیدرولیکی به‌ویژه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شد، به

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta - \theta_r}{(1 + (\alpha h)^n)^m}; m = 1 - 1/n \quad (2)$$

$$K(\theta) = K_s S_e^l [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2, m = 1 - 1, \quad (3)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4)$$

که در آن،  $K(\theta)$  هدایت هیدرولیکی غیراشباع ( $L \cdot T^{-1}$ )،  $K_s$  هدایت هیدرولیکی اشباع ( $L \cdot T^{-1}$ )،  $\theta_s$  رطوبت اشباع ( $L^3 \cdot L^{-3}$ )،  $\theta_r$  رطوبت باقی‌مانده ( $L^3 \cdot L^{-3}$ )،  $\alpha$ ،  $n$  و  $m$  ضرایب تجربی،  $S_e$  درجه اشباع موثر و 1 فاکتور اعوجاج می‌باشد که مقدار آن برابر 0/5 لحاظ شد (Schaap and van Genuchten., 2005).

برای شبیه‌سازی انتقال یون‌های نیترات و سدیم در نرم‌افزار Hydrus-1D از مدل تعادلی انتقال - انتشار<sup>1</sup> به‌همراه هم‌دمای جذب خطی مطابق روابط 5، 6 و 7 استفاده شد.

$$\frac{\partial \theta c}{\partial t} + \rho \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \theta D \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \frac{\partial q c}{\partial z} \quad (5)$$

$$s = K_d \cdot c \quad (6)$$

$$D = \lambda \cdot \theta = \lambda \cdot \frac{q}{\theta} \quad (7)$$

که در آن‌ها،  $c$  غلظت املاح محلول آب خاک ( $M \cdot L^{-3}$ )،  $s$  غلظت املاح جذب شده توسط ماتریکس خاک ( $M \cdot M^{-1}$ )،  $D$  ضریب انتشار ( $L^2 \cdot T^{-1}$ )، فلاکس جریان ( $L \cdot T^{-1}$ )، چگالی ظاهری خاک ( $M \cdot L^{-3}$ )،  $K_D$  ضریب توزیع،  $\lambda$  ضریب انتشارپذیری ( $L$ ) و  $\theta$  متوسط سرعت حفره‌های ( $L \cdot T^{-1}$ ) است.

**تخمین پارامترها**

از منحنی‌های رخنه برای تعیین ضرایب انتشارپذیری ( $\lambda$ ) و توزیع نیترات و سدیم براساس حداقل‌سازی تابع هدف (رابطه 8) به روش حل معکوس از الگوریتم بهینه‌سازی لورنبرگ-ماکوارت استفاده شد (عباسی و تاجیک، 1386).

$$\varphi(q, b) = \sum_{j=1}^{\delta} v_{ij} \sum_{i=1}^{\gamma} w_{ij} \left[ q_j^*(z, t_i) - q_j(z, t_i, b) \right]^2 \quad (8)$$

که در آن،  $\varphi(q, b)$  تابع هدف،  $b(K_D, \lambda)$  بردار عوامل مشخصه مجهول،  $q_j^*(z, t_i)$  و  $q_j(z, t_i, b)$  به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی ویژگی مورد نظر در عمق  $z$  و زمان  $t_i$ ،  $\delta$  و  $\gamma$  تعداد سری داده و تعداد اندازه‌گیری برای هر سری داده،  $w_{ij}$  و  $v_{ij}$  نیز ضرایب وزنی برای هر قرائت و هر سری از داده‌های اندازه‌گیری می‌باشند.

کاهش جرم مخصوص ظاهری (جدول 1) در افزایش منافذ ریز موفق تر عمل کرده که با نتایج دیگر مطالعات تطابق دارد (Asghari et al., 2009).

برای تفسیر و تحلیل بهتر منحنی‌های رخنه مقادیر ضرایب انتشارپذیری ( $\lambda$ ) و توزیع ( $K_D$ ) سدیم و نیترات برای خاک طبیعی و خاک ورمی‌کمپوست‌دار در سه شدت جریان 0/0704، 0/0477 و 0/0208 سانتی‌متر بر دقیقه در جدول 4 آورده شد.

گونه‌ای که افزایش 1/38 درصدی رطوبت اشباع و 12/28 درصدی رطوبت باقیمانده را نیز به‌همراه داشت. در همین راستا محققین دیگری نیز افزایش ظرفیت آب قابل استفاده و ظرفیت نگهداری آب سهل‌الوصول را در اثر افزودن ماده آلی به خاک گزارش نمودند (Nyamangara et al., 2001; Bauer and Black., 1992). به‌نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست نسبت تخلخل ریز به درشت خاک را بیش‌تر تغییر داده است. احتمالاً ورمی‌کمپوست از طریق افزایش بیش‌تر درصد رطوبت باقیمانده به‌نسبت رطوبت اشباع خاک (جدول 3) و

جدول 4- ضرایب انتشارپذیری و توزیع برآورد شده برای سدیم و نیترات

یون	شدت جریان (cm/min)	$\lambda$ (cm)	$K_D$
سدیم	0/0704	0/889	2/876
	0/0477	1/031	4/380
	0/0208	--	--
	0/0704	1/63	5/329
	0/0477	3/112	7/388
	0/0208	--	--
نیترات	0/0704	0/0989	0/0056
	0/0477	0/123	0/091
	0/0208	0/0994	0/2945
	0/0704	0/1352	0/1306
	0/0477	0/1531	0/1659
	0/0208	0/1830	0/1865

ضرایب توزیع نیترات و سدیم نیز گردید (جدول 4). همان‌گونه که بیان شد کاهش رطوبت منجر به ورود هوا به خاک و جذب بیش‌تر املاح (سدیم و نیترات) در حد فاصل فاز هوا و مایع<sup>2</sup> (AWI) می‌گردد (Chang and Fraesis., 1995; Jia et al., 2013). ضمن آن‌که هوای محبوس در خاک در شرایط جریان غیراشباع با انسداد برخی از مسیرهای انتقال موجب غیرمتحرک شدن بخشی از رطوبت<sup>3</sup> در لوله‌های مویین شده که ریزمکان‌هایی<sup>4</sup> مناسب برای نگهداشت املاح است (Jelinkova et al., 2011; Dohnal et al., 2013). مطابق آنچه در قبل نیز بیان شد ورمی‌کمپوست موجب افزایش ضرایب توزیع و انتشارپذیری سدیم و نیترات شده است (جدول 4). ورمی‌کمپوست با افزایش درصد خلل و فرج ریز به‌عنوان مکان‌های متعدد ایده‌آل برای نگهداشت املاح (اصغری و همکاران، 1390) و افزایش سطح جذب به‌واسطه وجود ماده آلی و بالا بودن درصد تخلخل (Warrick., 2002)، سبب افزایش ضریب توزیع شد. این نتایج بیان‌گر تاثیر ورمی‌کمپوست در افزایش ضریب انتشارپذیری سدیم و نیترات نیز است.

همان‌گونه که در جدول 4 ملاحظه گردید ضرایب انتشارپذیری ( $\lambda$ ) و توزیع ( $K_D$ ) سدیم و نیترات با کاربرد ورمی‌کمپوست و کاهش شدت جریان (غیراشباع شدن) افزایش یافته‌است. به‌عبارت دیگر کم‌ترین مقدار  $\lambda$  و  $K_D$  سدیم برای خاک طبیعی در شدت جریان اشباع و بیش‌ترین مقدار آن‌ها برای خاک ورمی‌کمپوست‌دار تحت شرایط جریان غیراشباع است. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار  $\lambda$  و  $K_D$  نیترات به ترتیب به خاک ورمی‌کمپوست‌دار و خاک طبیعی با جریان غیراشباع کم و کم‌ترین آن‌ها به خاک طبیعی در وضعیت اشباع تعلق داشت. مطابق قانون پوازی<sup>1</sup> سرعت حرکت آب درون خاک تابع رابطه توانی درجه چهار شعاع لوله‌های مویین است (Miyazaki., 2006). لذا طبق نظر فریدمن، کاهش رطوبت، حرکت آب را به لوله‌های مویین ریز با اعوجاج بیش‌تر جابجا نموده (Friedman., 1999) که در ترکیب با ورود هوا به خاک، هم‌راستا با دیدگاه ویلسون و همکاران، ضمن کاهش سطح مقطع جریان (Wilson et al., 1994) و افزایش تغییرات سرعت جریان درون خاک، سبب افزایش انتشارپذیری گردید (Fetter., 2008). از طرفی کاهش رطوبت خاک سبب افزایش

2- Air-water interface

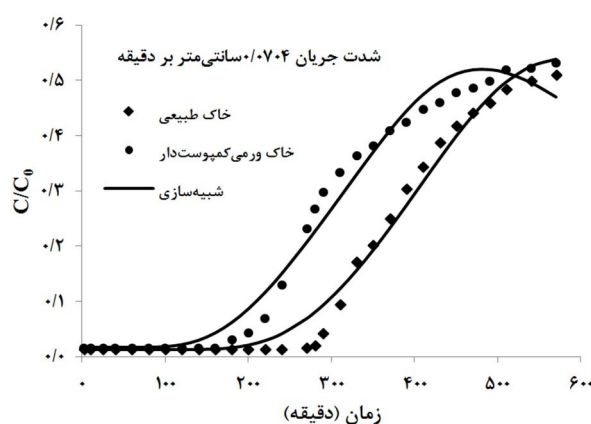
3- Immobile water

4- Microsites

1- Poiseuille equation

تحرک بالا و فعل و انفعال کم با ماتریکس منفی خاک دانسته است (Lehmann and Schroth, 2003). در حالی که سدیم یونی جذبی بوده و به سادگی با محیط بار منفی خاک واکنش داد (مقبلی و همکاران، 1393).

شکل 1 منحنی رخنه سدیم در شرایط اشباع با شدت جریان 0/0704 سانتی‌متر بر دقیقه برای دو خاک طبیعی و خاک دارای ورمی کمپوست است. در این شکل مقادیر مختلف غلظت نسبی سدیم در محور عمودی متناظر با زمان‌های اندازه‌گیری در محور افقی آمده است.



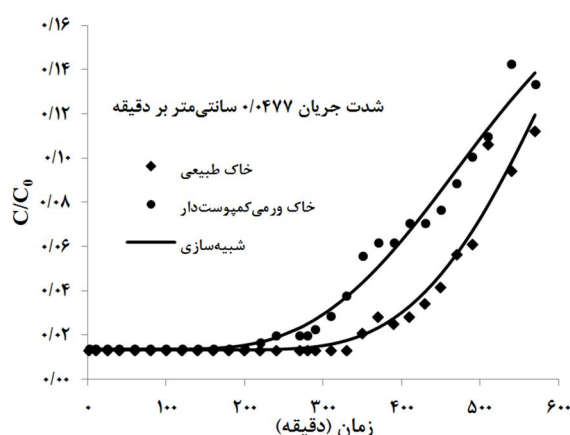
شکل 1- منحنی‌های رخنه سدیم در حالت اشباع

منحنی‌های رخنه سدیم در حالت اشباع (شکل 1) نشان داد زمان رخنه سدیم خاک طبیعی و خاک ورمی کمپوست‌دار به ترتیب 280 و 160 دقیقه است. به عبارت دیگر ورمی کمپوست موجب کاهش 120 دقیقه‌ای زمان رخنه شد. بیش‌ترین اختلاف سدیم خروجی بین دو خاک تحت شرایط جریان اشباع در بازه 240 تا 410 دقیقه است و با نزدیک شدن به زمان انتهایی آزمایش، اختلاف سدیم خروجی بین دو خاک کاهش یافت. این مطلب بیان‌گر برابری شیب منحنی‌های رخنه سدیم در زمان‌های اولیه و کاهش بیش‌تر شیب منحنی رخنه خاک ورمی کمپوست‌دار، با گذر زمان است. به نظر می‌رسد اضافه شدن خلل و فرج درشت ناشی از ورمی کمپوست در کاهش زمان رخنه تحت شرایط جریان اشباع موثر باشد. مطالعه ساگیتا و گیلیهام مبنی بر تاثیر خلل و فرج درشت بر کاهش زمان رخنه در راستای نتایج پژوهش حاضر است (Sugita and Giliham., 1993). هم‌چنین کاهش شیب منحنی رخنه در خاک ورمی کمپوست‌دار را می‌توان ناشی از افزایش درصد خلل و فرج ریز نسبت به خلل و فرج درشت دانست. بیش‌تر بودن ضریب انتشارپذیری سدیم در خاک حاوی ورمی کمپوست

شبه‌سازی انتقال سدیم و نیترات در خاک اصلاح شده با ورمی کمپوست ... 893

شکل 2 منحنی رخنه سدیم در شرایط غیراشباع با شدت جریان ورودی 0/0477 سانتی‌متر بر دقیقه برای خاک طبیعی و خاک دارای ورمی کمپوست نشان داده شده است. مطابق نتایج شکل 2 رخنه سدیم تحت شرایط جریان غیراشباع در خاک طبیعی و خاک دارای ورمی کمپوست به ترتیب در 330 و 200 دقیقه رخ داده که بیان‌گر کاهش 130 دقیقه‌ای رخنه در خاک ورمی کمپوست‌دار است. از طرفی شیب سدیم خروجی در خاک ورمی کمپوست‌دار نسبت به خاک طبیعی کم‌تر و اختلاف مقادیر سدیم خروجی بین دو خاک در انتهایی آزمایش نیز کاهش یافت. با توجه به شباهت این نتایج با شرایط جریان اشباع می‌توان علت را بیش‌تر به نقش متفاوت خلل و فرج ریز و درشت در مقایسه با تاثیر شرایط جریان نسبت داد. از طرفی نتایج نشان داد تغییر شرایط جریان از حالت اشباع به حالت غیراشباع سبب افزایش زمان رخنه و کاهش شیب منحنی‌های رخنه سدیم شد (شکل‌های 1 و 2).

شکل 2 منحنی رخنه سدیم در حالت اشباع (شکل 1) نشان داد زمان رخنه سدیم خاک طبیعی و خاک ورمی کمپوست‌دار به ترتیب 280 و 160 دقیقه است. به عبارت دیگر ورمی کمپوست موجب کاهش 120 دقیقه‌ای زمان رخنه شد. بیش‌ترین اختلاف سدیم خروجی بین دو خاک تحت شرایط جریان اشباع در بازه 240 تا 410 دقیقه است و با نزدیک شدن به زمان انتهایی آزمایش، اختلاف سدیم خروجی بین دو خاک کاهش یافت. این مطلب بیان‌گر برابری شیب منحنی‌های رخنه سدیم در زمان‌های اولیه و کاهش بیش‌تر شیب منحنی رخنه خاک ورمی کمپوست‌دار، با گذر زمان است. به نظر می‌رسد اضافه شدن خلل و فرج درشت ناشی از ورمی کمپوست در کاهش زمان رخنه تحت شرایط جریان اشباع موثر باشد. مطالعه ساگیتا و گیلیهام مبنی بر تاثیر خلل و فرج درشت بر کاهش زمان رخنه در راستای نتایج پژوهش حاضر است (Sugita and Giliham., 1993). هم‌چنین کاهش شیب منحنی رخنه در خاک ورمی کمپوست‌دار را می‌توان ناشی از افزایش درصد خلل و فرج ریز نسبت به خلل و فرج درشت دانست. بیش‌تر بودن ضریب انتشارپذیری سدیم در خاک حاوی ورمی کمپوست

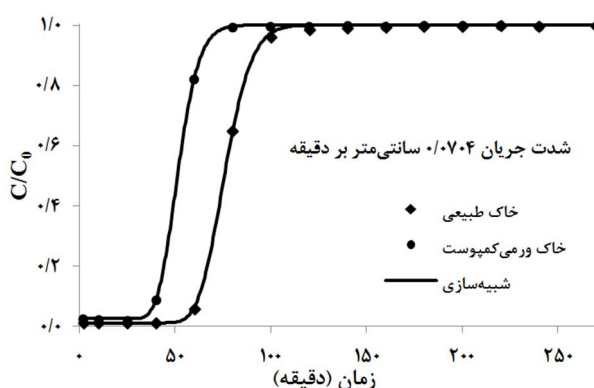


شکل 2- منحنی‌های رخنه سدیم در حالت غیراشباع

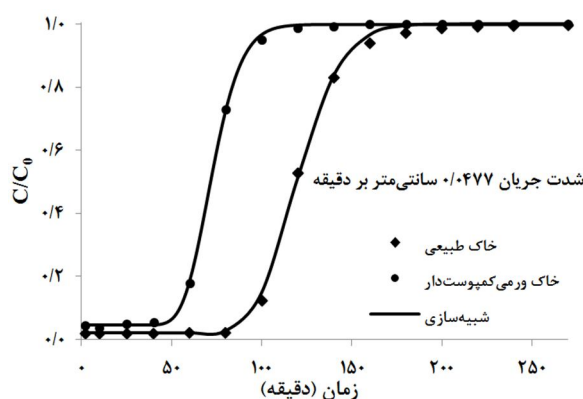
(1395) نیز نتایج مشابهی را برای یون پتاسیم در شرایط رطوبتی کم گزارش نمودند. منحنی‌های رخنه نیترات برای هر یک از خاک‌های طبیعی و ورمی کمپوست‌دار در شدت جریان‌های مختلف در شکل‌های 3، 4 و 5 آمده است.

همان‌گونه که در شکل 3 ملاحظه شد زمان‌های رخنه در خاک طبیعی و خاک دارای ورمی کمپوست تحت شرایط اشباع به ترتیب در 50 و 30 دقیقه شروع و در 120 و 80 دقیقه به حداکثر مقدار غلظت نسبی رسید. مطابق شکل 4 برای هر دو نوع خاک طبیعی و ورمی کمپوست‌دار تحت شرایط غیراشباع با شدت جریان 0/0477 سانتی‌متر بر دقیقه، رخنه در 80 و 40 دقیقه شروع و حداکثر غلظت نسبی در 200 و 120 دقیقه مشاهده گردید. به همین ترتیب با اعمال شدت جریان کمتر غیراشباع (0/0208 سانتی‌متر بر دقیقه) بر ستون‌های خاک طبیعی و خاک ورمی کمپوست‌دار در شکل 5 مشاهده شد که رخنه در 120 و 80 دقیقه شروع و در 270 و 240 دقیقه به بیشینه مقدار غلظت نسبی رسید.

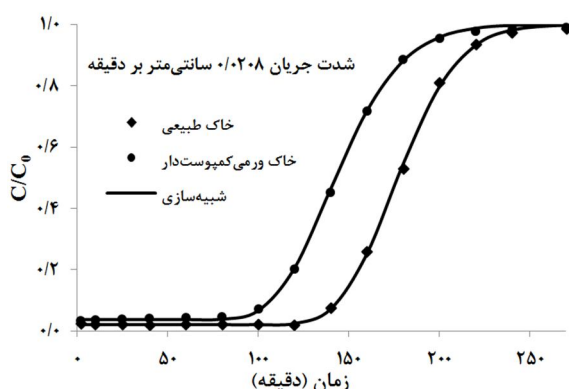
در مجموع یکی از علل اصلی تغییرات فوق عملکرد توام خلل و فرج و کاهش رطوبت است. مقایسه شکل‌های 1 و 2 نشان می‌دهد منحنی رخنه سدیم در حالت غیراشباع بر خلاف حالت اشباع دارای نوساناتی است که ناشی از مشارکت بیش‌تر خلل و فرج ریز در شرایط غیراشباع نسبت به شرایط اشباع است. زیرا حجم جریان عبوری در خلل و فرج ریز در حالت غیراشباع باید به حدی برسد که غالبیت نیروی وزن آب در مقابل نیروی چسبندگی آب به خاک (ماتریک) عمل نماید (Bunsri et al., 2009). از طرفی این پژوهش نشان داد در شدت جریان 0/0208 سانتی‌متر بر دقیقه در هر دو خاک به علت کاهش شدت جریان و به تبع سدیم ورودی کم‌تر، عدم تکمیل مکان‌های جذب سطحی خاک، واجذب نشدن سدیم و عدم آبشویی آن، منحنی رخنه سدیم شکل نگرفت. در این رژیم رطوبتی، حرکت سدیم بیش‌تر از نوع انتشار است که فرآیندی زمان‌بر بوده و آبشویی مجدد نتوانست غلظت سدیم خروجی را به بیش از مقدار اولیه PPM 0/1 افزایش دهد (Fetter., 2008). میرزایی و رویی و همکاران



شکل 3- منحنی‌های رخنه نیترات در شرایط اشباع



شکل 4- منحنی‌های رخنه نیترات در شرایط غیر اشباع



شکل 5- منحنی‌های رخنه نیترات در شرایط غیر اشباع

رخنه و افزایش مقدار املاح خروجی به ازای افزایش شدت جریان آب است (Costa and Prunty., 2006; Gerritse., 1994). دلایل بیش‌تری از رخنه و فرآیند جابجایی یون سدیم به تفصیل در شکل های 1 و 2 بیان شد که برای یون نیترات نیز صادق است.

### نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد ورمی کمپوست باعث افزایش تخلخل، رطوبت اشباع و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شد. به‌گونه‌ای که در شدت جریان 0/0704 و 0/0477 سانتی‌متر بر دقیقه زمان رخنه سدیم در خاک حاوی ورمی کمپوست 42/86 و 39/44 درصد نسبت به خاک طبیعی به سمت چپ جابجا شد. در مقابل تغییر در شرایط جریان اشباع با 0/0704 به جریان غیر اشباع با شدت 0/0477 سانتی‌متر بر دقیقه، سبب افزایش 50 و 40 دقیقه‌ای زمان رخنه سدیم در خاک طبیعی و خاک ورمی کمپوست‌دار شد. کاهش بیش‌تر شدت جریان غیر اشباع در هر دو خاک مانع از شکل‌گیری رخنه سدیم گردید. به‌طور مشابه اضافه‌شدن ورمی کمپوست به خاک موجب کاهش زمان رخنه نیترات گردید. نتایج حاصل، بیان‌گر کاهش زمان رخنه از 50 دقیقه در

نتیجه کلی حاصل از رخنه نیترات در هر سه شکل 3، 4 و 5 کاهش زمان رخنه ناشی از اضافه شدن ورمی کمپوست به خاک را نشان می‌دهد. بر این اساس در خاک ورمی کمپوست‌دار نسبت به خاک طبیعی در شدت جریان‌های 0/0704 و 0/0477 و 0/0208 سانتی‌متر بر دقیقه زمان رخنه به ترتیب 20، 40 و 40 دقیقه و زمان مشاهده حداکثر غلظت نسبی 40، 80 و 70 دقیقه کاهش یافت. به عبارتی دیگر حضور ورمی کمپوست بنا به همان دلایلی که برای رخنه سدیم (شکل‌های 1 و 2) بیان شد سبب جابجایی منحنی رخنه به سمت چپ و حرکت سریع‌تر نیترات و سدیم در ستون‌های خاک گردید.

از طرفی نتایج رخنه نیترات در هر سه شکل 3، 4 و 5 نشان داد کاهش شدت جریان از 0/0704 در حالت اشباع به مقادیر 0/0477 و 0/0208 سانتی‌متر بر دقیقه در حالت غیر اشباع سبب افزایش 60 و 140 درصدی زمان رخنه در خاک طبیعی و افزایش 33/33 و 166/7 درصدی زمان رخنه در خاک دارای ورمی کمپوست شد. بنابراین با غیر اشباع شدن خاک و کاهش شدت جریان، زمان رخنه و زمان به حداکثر رسیدن غلظت نسبی نیترات در هر دو خاک مشابه زمان رخنه سدیم افزایش یافت. نتایج برخی مطالعات نیز بیان‌گر کاهش زمان



انتشارات امید، تبریز.

عباسی، ف و تاجیک، ف. 1386. برآورد هم‌زمان پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح در خاک به روش حل معکوس در مقیاس مزرعه. مجله علوم و فنون کشاورزی. 11: 111-123.

فاضلی، م، کلانتری، ن، رحیمی، م، ح و خوبیاری، ع. 1390. بررسی توزیع زمانی و مکانی آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت زیدون به نیترات. مجله مهندسی منابع آب. 4: 45-51.

مراذزاده، م، معاضده و صیاده، غ. ع. 1392. شبیه‌سازی آبشویی یون نیترات در یک خاک لوم شنی تیمار شده با زئولیت با استفاده از نرم‌افزار Hydrus-1D. دانش آب و خاک. 23: 95-108.

مقبلی، م، فرحبخش، م و برومند، ن. 1393. هم‌دماهای جذب سطحی بور در خاک در مقادیر مختلف نسبت جذب سدیم. نشریه پژوهش های خاک (علوم خاک و آب). 4: 713-721.

ملکوتی، م، ج. 1393. توصیه بهینه مصرف کود برای محصولات کشاورزی در ایران: تعیین مقدار، نوع و زمان مصرف کودها با هدف خودکفایی نسبی، تامین امنیت غذایی جامعه و افزایش درآمد کش. چاپ دوم، نشر مبلغان، تهران.

میرزایی ورویی، م، فکری، م و محمودآبادی، م. 1395. اثرات رژیم رطوبتی، سدیم و کلسیم بر توزیع عمقی پتاسیم در یک خاک گچی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 23: 65-81.

Ashgari, S., Neyshabouri, M.R., Abbasi, F., Aliasgharzad, N and Oustan, S. 2009. The effects of four organic soil conditioners on aggregate stability, pore size distribution and respiration activity in a sandy loam soil. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 33: 47-55.

Bagheri, H and Afrasiab, P. 2013. The effects of super-absorbent, vermicompost and different levels of irrigation water salinity on soil saturated hydraulic conductivity and Porosity and Bulk density. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 4. 8: 2381-2388.

Bauer, A and Black, A.L. 1992. Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. Soil Science Society American Journal. 56: 248-254.

Bejat, L., Perfect, E., Quisenberry, V.L., Coyne, M.S and Haszler, G.R. 2000. Solute Transport as Related to Soil Structure in Unsaturated Intact Soil Blocks. Plant and Soil Sciences Faculty Publications. 64: 818-826.

Bhatnagar, A., Ji, M., Choi, Y.H., Jung, W., Lee, S.H., Kim, S.J., Lee, G., Suk, H., Kim, H.S and Min, B. 2008. Removal of nitrate from water by adsorption onto zinc chloride treated activated carbon.

خاک طبیعی به 30 دقیقه در خاک ورمی کمپوست‌دار تحت شرایط اشباع است. در جریان غیراشباع 0/0477 و 0/0208 سانتی‌متر بر دقیقه نیز زمان رخنه نیترات 10 و 50 دقیقه در خاک ورمی کمپوست‌دار و 30 و 70 دقیقه در خاک طبیعی نسبت به جریان اشباع افزایش یافت. در مجموع تغییر شرایط جریان از اشباع به غیراشباع با دو مقدار متفاوت جریان مانع از شکل‌گیری منحنی رخنه نیترات نگردید. شکل‌گیری منحنی رخنه نیترات در هر دو شدت جریان غیراشباع را می‌توان به نقش غیر جذبی و تحرک‌پذیری بالای نیترات در مقایسه با یون سدیم نسبت داد. به عبارت دیگر تفاوت در ضرایب انتشارپذیری ( $\lambda$ ) و توزیع ( $K_D$ ) یون سدیم نسبت به یون نیترات و افزایش مقادیر آن‌ها به موازات افزودن ورمی کمپوست به خاک دلیلی بر تحرک‌پذیری بیش‌تر نیترات می‌باشد.

## منابع

احمدآبادی، ز، قاجارسپانلو، م و رحیمی آلاشتی، س. 1390. اثر ورمی کمپوست بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). 15: 58-137-125.

اصغری، ش، عباسی، ف، نیشابوری، م، ر، اوستان، ش و علی‌اصغرزاده، ن. 1390. اثرات 4 اصلاح کننده آلی بر پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح در یک خاک لوم شنی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 18: 177-194.

اصغری، ش، نیشابوری، م، ر، عباسی، ف، اصغرزاده، ن، ع و اوستان، ش. 1389. تاثیر پلی‌اکریل آمید، کود دامی، ورمی کمپوست و لجن بیولوژیکی بر پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت فروری و آب قابل استفاده در یک خاک لوم شنی. دانش آب و خاک. 20: 15-29.

باقری، ح و افراسیاب، پ. 1394. مقایسه اثرات سوپرچادب و ورمی کمپوست بر مقدار رطوبت ذخیره شده خاک در سطوح مختلف شوری آب آبیاری. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 22: 179-191.

پیرزاده، ع، یوسفی، م، درویش زاده، ر و راعی، ی. 1392. تاثیر مقادیر مختلف زئولیت و کود نیتروژنه بر عملکرد و شاخص برداشت گل، دانه، اسانس و روغن همیشه بهار *Calendula officinalis*. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. 23: 61-75.

چرم، م و صادق‌زاده، ف. 1383. بررسی تاثیر تراکم خاک بر حرکت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ستون خاک. مجله علمی کشاورزی، 27: 139-154.

صوفی، ر، س و جانمحمدی، ح. 1388. تغذیه دام، ویرایش ششم،

- Plant Nutrition and Soil Science. 173: 407-416.
- Jeinkova, V., Snehota, M., Pohlmeier, A., van Dusschoten, D and Cislerova, M. 2011. Effects of entrapped residual air bubbles on tracer transport in heterogeneous soil: Magnetic resonance imaging study. *Organic Geochemistry*. 42.8: 991-998.
- Jia, W., Ren, S and Hu, B. 2013. Effect of water chemistry on zeta potential of air bubbles. *International Journal Electrochemical Science*. 8:5828-5837.
- Lal, R and Shukla, M.K. 2005. *Principles of Soil Physics*. Taylor and Francis. New York, U.S.A.
- Lehmann, J and Schroth, G. 2003. *Trees, Crops, and Soil Fertility*. Eds. G. Schroth and F.L. Sinclair. Centre for Agriculture and Biosciences international. U.K.
- Lennartz, B., Haria, A.H., Johnson, A.C. 2007. Flow regime effects on reactive and non-reactive solute transport. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. 17.1: 29-40.
- Miyazaki, T. 2006. *Water Flow in Soil* (3th edition), Taylor and Francis. U.S.A.
- Nyamangara, J., Gotosa, J and Mpofo, S.E. 2001. Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity of a granitic sandy soil in Zimbabwe. *Soil Tillage Research*. 62: 157-162.
- Panuccio, M.R., Muscolo, A and Nardi, S. 2001. Effect of humic substances on nitrogen uptake and assimilation in two species of pinus. *Journal of Plant Nutrient*. 24.4-5:693- 704.
- Roy, S., Arunachalam, K., Kumar Dutta, B and Arunachalam, A. 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. Zea mays, Phaseolus vulgaris and Abelmoschus esculentus. *Applied Soil Ecology*. 7:39-46.
- Schaap, M.G van Genuchten, M.Th. 2005. A modified mualem-van genuchten formulation for improved description of the hydraulic conductivity near saturation. *Vadose Zone Journal*. 5:27-34.
- Simunek, J., Huang, K and van Genuchten, M.Th. 1998. *The HYDRUS Code for Simulating the One-dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media*. Version 6.0. Res. Rep. 144. U.S. Salinity Lab., Riverside, CA., U.S.A.
- Srikanth, K., Srinivasamurthy, C.A and Siddamarappa, V.R. 2000. Direct and residual effect of enriched compost, vermicompost and fertilizerz on properties of an Alfisol. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 48.3:496-499.
- Sugita, F and Giliham, R.W. 1993. effect of pore-size variation in a porous medium on reactive solute transport. *Tracers in Hydrology*. 171-177.
- Separation Science and Technology. 43: 886-907.
- Bunsri, T., Sivakumar, M and Hagare, D. 2009. Simulation of water movement through unsaturated infiltration-redistribution system. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 2.1: 45-53.
- Carter, M and Gregorich, E. 2008. *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 2nd edition. CRC Press, Taylor and Francis Group, London.
- Change, Ch.H and Franses, E.I. 1995. Adsorption dynamics of surfactants at the air/water interface: a critical review of mathematical models, data, and mechanisms. *Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 100: 1-45.
- Costa, J.L., Prunty, L. 2006. Solute transport in fine sandy loam soil under different flow rates. *Agricultural water management*. 83: 111-118.
- Dohnal, M., Jelinkova, V., Snehota, M., Dusek, J and Brezina, J. 2013. Tree-Dimensional Numerical Analysis of Water Flow Affected by Entrapped Air: Application of Noninvasive Imaging Techniques. *Vadose zone journal*. 12.1: 1-12.
- Ebrahimian, H., liaghat, A., Pardinejad, M., Abbasi, F and Navabian, M. 2012. Comparison of one- and two-dimensional models to simulate alternate and conventional furrow fertigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 138.10: 929-938.
- Fetter, C.W. 2008. *Contaminant Hydrogeology* (3th edition). Waveland Press Incorporated, California. U.S.A.
- Friedman, Sh.P. 1999. Dynamic contact angle explanation of flow rate-dependent saturation pressure relationships during transient liquid flow in unsaturated porous media. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 13.12: 1495-1518.
- Gerritse, R.G. 1994. The effects of flow rate and distance travelled on the mobility of phosphate in soils. *Transport in porous media*. 16:237-251.
- Godoy, V.A., Zuquette, L.V and Napa-Garcia, G.F. 2015. Transport Mechanisms of Sodium in Sandy Soil from Column Leaching Test. *Engineering Geology for Society and Territory*. 3: 197-200.
- Halliwell, D.J., Barlow, k.M and Nash, D.M. 2001. A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. *Australian journal of soil research*. 39:1259-1267.
- Herbel, M.J and Spalding, R.F. 1993. Vadose zone fertilizer-derived nitrate and  $\delta^{15}N$  extracts. *Ground Water*. 31.3: 316-322.
- Jalali, M and Arfania, H. 2010. Leaching of heavy metals and nutrients from calcareous sandy loam soil receiving municipal solid sewage sludge. *Journal of*

- Warrick,A.W. 2002. Soil Physics Companion. CRC press, U.S.A.
- Weber,J.B., Warren,R.L., Swain,L.R and Yelverton,F.H. 2007. Physicochemical property effects of three herbicides and three soils on herbicide mobility in field lysimeters. Crop Protection. 26.3: 299-311.
- Wilson,L.G., Everett,L.G and Cullen,S.J. 1994. Handbook of Vadose Zone Characterization and Monitoring. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Tafteh,A Sepaskhah,A.R. 2012. Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields. Agricultural Water Management. 113: 19-29.
- Tangkoonboribun,R., Rauysoongnern,S., Rambo,P.V and Tumsan,B. 2006. Effect of organic and clay material amendment on physical properties of degraded sandy soil for sugarcane production. Sugar Tech. 8.1: 44-48.

## Simulation of Nitrate and Sodium Transport in Soil Treatment with Vermicompost Under Different Irrigation Regimes

H. Bagheri<sup>1</sup> and H. Zare Abyaneh<sup>2\*</sup>

Received: Dec.03, 2016

Accepted: Apr.23, 2017

### Abstract

The simulation of nitrate and sodium transport was done in native soil and soil treatment by vermicompost under three irrigation flow rates in saturation and unsaturation states. For this purpose, 12 columns with 20 cm length and 5.9 cm diameter chopped of PVC pipes were used that soil layer in column was 10 cm. All of columns saturated at 24 hours, and leaching was immediately done with distilled water at 24 hours, too. Next, the solution consist of 1mMol  $KNO_3$  and 25.42 mg in 1 liter distilled water injected to soil columns with three different water flow rates during 570 minutes, and the nitrate and sodium concentrations were measured in effluent solutions at specified time intervals. The Advection-Dispersion model was used for simulating of solute transport, and dispersivity and distribution coefficients of nitrate and sodium were determined by inverse method. Sodium breakthrough in native soil and soil treatment with vermicompost condition occurred at 280 and 160 minutes under saturated condition with flow rate 0.0704 cm/min, 330 and 200 minutes under unsaturated condition with flow rate 0.0477 cm/min, but sodium breakthrough did not occurred in unsaturated condition with flow rate 0.0208 cm/min. Nitrate breakthrough in native soil with flow rates 0.0704, 0.0477 and 0.0208 cm/min occurred in 50, 80 and 120 minutes, and become maximum in 120, 200 and 270 minutes. Nitrate breakthrough in soil treatment with vermicompost in flow rates 0.0704, 0.0477 and 0.0208 cm/min occurred in 30, 40 and 80 minutes, and become maximum in 80, 120 and 240 minutes. The results showed the breakthrough times of nitrate and sodium and time of maximum concentration of nitrate were decreased by application of vermicompost and increasing soil water flow rate. The results of modeling showed dispersivity and distribution coefficients were increased by using of vermicompost and decreasing soil water flow rate.

**Keywords:** Advection-Dispersion model, Breakthrough curve, Dispersivity coefficient, Linier adsorption, Solute transport

1- PhD. Candidate in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan

2- Associate Professor in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan

(\*- Corresponding Author Email : zare@basu.ac.ir )