نشریه دانش آب و خاک / جلد23 شماره1 صفحه‌های95 تا 107/ سال 1392

شبیه‌سازی آبشویی یون نیترات در یک خاک لوم شنی تیمار شده با زئولیت با استفاده از نرم‌افزار Hydrus-1D

مصطفی مرادزاده[1]*، هادی معاضد[2]، غلامعباس صیاد[3]

تاریخ دریافت:90/06/22 تاریخ پذیرش:91/06/26

[1] - دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز

[2] - استاد دانشکده مهندسی علوم آب، گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز

[3] - استادیار دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبه: Email: Moradzadeh.Mostafa@gmail.com

چکیده

مصرف کود نیتروژن در کشاورزی، تجمع و حرکت نمک‌ها در خاک‌ها و مدل‌سازی این حرکت در سال‌های اخیر مورد توجه فراوانی قرار گرفته است. از طرفی در استفاده از این مواد باید تدابیری اتخاذ نمود که ضمن افزایش تولید و کیفیت محصولات کشاورزی از اثرات نامطلوب آن، مانند آلوده کردن محیط زیست، خاک و آب‌های زیر زمینی کاسته شود. در این پژوهش تاثیر زئولیت پتاسیمی در جذب و نگهداری یون نیترات در یک خاک لوم شنی اشباع و در شرایط آزمایشگاهی، با چهار تیمار شاهد و کاربرد 2، 4 و 8 گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در قالب یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و نیز آبشویی یون نیترات، به وسیله نرم‌افزار Hydrus-1D در ستون‌های خاک شبیه‌سازی شد. کود نیترات آمونیوم با غلظت 10 گرم بر لیتر به ستون‌های خاک اضافه گردید و سپس ستون‌های خاک آبشویی شدند. نتایج به دست آمده نشان داد، اضافه کردن زئولیت پتاسیمی به خاک باعث کاهش شستشوی نیترات و افزایش نگهداشت آن در خاک می‌شود. در نرم‌افزار هایدروس، از معادلات جابجایی - انتشار (CDE) و رطوبت روان- ساکن (MIM) در برآورد حرکت یون نیترات در خاک استفاده شد. ایزوترم‌های جذب و ضرایب پخشیدگی و انتشار یون نیترات با استفاده از مدل‌سازی معکوس تعیین گردیدند. به دلیل دست‌خورده بودن نمونه‌های خاک، برآورد مدل CDE به مقادیر اندازه‌گیری شده در هر چهار تیمار، نزدیک‌تر بود. همچنین هر دو مدل CDE و MIM نشان دادند که افزایش کاربرد زئولیت باعث کاهش ضریب پخشیدگی و افزایش ضریب انتشار آبی یون نیترات در خاک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زئولیت، شبیه‌سازی، منحنی رخنه، نیترات، Hydrus-1D

Archive of SID

www.SID.ir

Simulation of Nitrate Ion Leaching in a Sandy Loam Soil Treated with Zeolite Using Hydrus-1D Model

M Moradzadeh[1]*,H Moazed[2], Gh Sayyad[3]

Received: 13 September 2011 Accepted: 16 September 2012
[1,2] PhD Student (Irrigation and Drainage Engin.) , Prof., Respectively, Faculty of Water Sci. Engin., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Ahvaz, Khuzestan, Iran.
[3] Assist. Prof., Dept. of Soil Sci., College of Agric., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz. Iran.
*Corresponding Author, Email : Moradzadeh.Mostafa@gmail.com

Abstract

In recent years, nitrogen fertilizer consumption in agriculture, accumulation and movement of salts in soils and modeling their movement have received extensive attention, But in using these substances, there should be a balance between the production increase and the quality of agricultural products, otherwise, undesirable effects, such as environmental pollution and soil and ground water contamination will occur. The objectives of this study were to investigate the effect of potassium zeolite on nitrate ion sorption and retention in a saturated sandy loam soil under laboratory condition with four treatments of 0, 2, 4 and 8 g zeolite per kg soil and to simulate nitrate ion leaching using Hydrus-1D model. The study was conducted as a completely randomized block design. Ammonium nitrate fertilizer with concentration of 10g per liter was added to soil columns and then leaching was performed. Results of the study showed that by increasing the amount of potassium zeolite to soil, the mobility of nitrate ion reduced and the nitrate retention in soil increased. Also, the Convection- Dispersion (CDE) and Mobile- Immobile (MIM) models were used to simulate the nitrate ion mobility in soil. Absorption isotherms and diffusion and dispersion coefficients were determined through the inverse modeling. Because the soil was disturbed, CDE model estimation was closer to observed values in all four treatments. Both the CDE and MIM models showed that as the amount of zeolite applied to the soil increases, the diffusion coefficient and dispersion coefficient of nitrate ion in the soil decreases and increases, respectively.

Keywords: BTC curves, Hydrus-1D, Nitrate, Simulation, Zeolite.

مقدمه

نیترات منبع اولیه نیتروژن است که برای ادامه حیات گیاهان ضروری می‌باشد. به همین دلیل کودهای شیمیایی نیتروژن دار برای بهبود رشد گیاهان مصرف می‌شوند. زمانی‌که مقدار نیترات در خاک مازاد بر نیاز گیاه باشد، آبشویی و وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. علیرغم پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه مصرف بهینه کود جهت جلوگیری از آلودگی نیترات در رودخانه‌ها، مزارع و آب‌های زیرزمینی، هنوز اطلاعات کمی در این زمینه وجود دارد. بنابراین باید روش‌هایی

Archive of SID

www.SID.ir

که قابلیت اجرا و انعطاف مدیریتی دارند شناخته شوند (میرزا و همکاران 1385). از جمله راه‌کارهای جدیدی که برای افزایش تاثیرگذاری و جلوگیری از هدر روی کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته است، به کارگیری ترکیبات طبیعی چون کانی‌های زئولیت در مزارع کشاورزی می‌باشد (پولات و همکاران 2004). زئولیت‌ها با ساختمان بلوری، مواد متخلخلی هستند که به دلیل داشتن ظرفیت جذب کاتیونی بالا و قراردادن بعضی کاتیون‌ها در ساختار خود علاوه بر نقش اصلاح کنندگی در خاک، می‌توانند نقش تغذیه ای نیز داشته باشند و باعث بهبود رشد گیاه شوند.

زوینگمن و همکاران (2009) با افزودن مزولیت که نوعی زئولیت اصلاح شده می‌باشد، به خاک‌های شنی، سعی کردند قابلیت نگهداری آب و مواد غذایی را در آنها افزایش دهند. آنان نتیجه گرفتند که مزولیت در به تاخیر انداختن حرکت کود، ماده بسیار خوبی است. لی (2002) مقدار جذب و رهاسازی نیترات را با کاربرد زئولیت‌های ساخته شده از زئولیت‌های اصلاح شده مورد بررسی قرار داد. آزمایش‌های ستونی نشان دادند که مقدار جذب یون نیترات در حالت اصلاح شده با سورفاکتانت[1] حدود 40 درصد بیشتر از زئولیت طبیعی است. لی و همکاران (2003) نشان دادند که برای جذب آنیون‌ها نیاز است تا بار سطح زئولیت‌ها به بار مثبت تغییر یابد و برای این عمل از سورفاکتانت‌های آلی مانند HDTMA-BA یا تترامتیل آمونیوم[2] و یا ستیل پریدیم[3] استفاده کردند. وانگ و همکاران (2007) میزان جذب یون آمونیوم را از محلول 10 میلی گرم در لیتر این یون برابر با 1/21 میلی مول به ازای هر گرم رس موردنایت سدیمی گزارش کردند. سلیک و همکاران (2001) مقدار جذب و تبادل کاتیونی یون آمونیوم را به وسیله کانی‌های زئولیت از گروه کلینوپتیلولایت[4] و سپیولایت[5] در روش ستونی مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که ظرفیت تبادل کاتیونی در رس کلینوپتیلولایت، مقدار زیادی از یون‌های آمونیوم را جذب کرد. کاترر و همکاران (2001) با استفاده از دو مدل یک ناحیه‌ای Hydrus و دو ناحیه‌ای Macro، تاثیر رطوبت اولیه و نحوه کاربرد ردیاب‌های برماید و کلراید را در سطح خاک بر حرکت نمک‌ها در دو ستون مرطوب و خشک بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مدل دو ناحیه‌ای برآورد بهتری از حرکت ردیاب‌ها در ستون خاک خشک دارد. سانجنز و همکاران (2001a و 2001b) از نرم‌افزار Hydrus-1D برای مطالعه حرکت کادمیوم در ستون خاک و نیز در مزرعه استفاده کردند. سرنیک و همکاران (1994) انتقال کادمیوم را در مکان-های صنعتی آلوده با استفاده از حل عددی مدل‌های انتقال نمک‌ها، و مرادی و همکاران (2005) پروفیل کادمیوم را در یک خاک آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب با استفاده از نرم‌افزارهای Hydrus و Macro شبیه‌سازی کردند. آنان نتیجه گرفتند که با وجود کارایی هر دو نرم‌افزار در شبیه‌سازی، نتایج به دست آمده با نرم‌افزارMacro، به مشاهدات آزمایشگاهی نزدیکتر است. سیمونک و همکاران (2008) شبیه‌سازی حرکت غیر-متعادل آب و نمک‌ها را با استفاده از نرم‌افزار Hydrus-1D انجام دادند. نتایج نشان داد که کلروتلوران در محیط‌های درشت دانه کاملا پیوسته از محل ورود به توده خاک به صورت منظم توزیع شد. فونتز و همکاران (2008) کاربرد نرم‌افزار Hydrus-1D را بر حرکت نیترات در خاک آتشفشانی متاثر از پسماند فاضلاب و خاکستر آن، بررسی کردند. نتایج نشان داد که خاک‌های آتشفشانی می‌توانند نیترات را در خود نگه دارند یا به صورت تدریجی آزاد کنند. مرادزاده و همکاران (1391) با استفاده از نرم‌افزار Hydrus-1D توانایی معادلات جابجایی - انتشار (CDE) و دو ناحیه‌ای یا مدل روان – ساکن(MIM) را در برآورد حرکت یون آمونیوم در ستون‌های یک خاک لوم شنی تیمار شده با زئولیت

[1] Surfactant
[2] Tetra Methyl Ammonium(TMA^+)
[3] Cethyl Pridium(CP^+)
[4] Clinoptilolite
[5] Sepiolite

Archive of SID
www.SID.ir

بررسی کردند، و نتیجه گرفتند که مدل CDE در خاک-های دست‌خورده نسبت به مدل MIM آبشویی یون آمونیوم را بهتر برآورد می‌کند. جلالی و همکاران (2010) برای ارزیابی خطر استفاده از فاضلاب در تغذیه آب‌های زیرزمینی، جذب آمونیوم را در نمونه‌های خاک با استفاده از آزمایشات ستون خاک مورد مطالعه قرار دادند. پس از آن از نرم‌افزار Hydrus-1D برای حل معکوس و شبیه‌سازی حرکت آمونیوم درخاک استفاده شد. آنان به این نتیجه رسیدند که استفاده از نرم‌افزار Hydrus-1D ابزار بسیار خوبی برای شبیه‌سازی حرکت آمونیوم در ستون‌های خاک آزمایشی است.

در این پژوهش سعی گردید با اندازه‌گیری غلظت یون نیترات خروجی از ستون‌های خاک حاوی مقادیر مختلف زئولیت و رسم منحنی‌های رخنه (BTC) مربوط به نیترات به بررسی تاثیر زئولیت بر نگهداشت این یون در خاک اشباع پرداخته شود. همچنین نحوه حرکت یون نیترات با استفاده از نرم‌افزار Hydrus-1D مورد مطالعه قرار گرفت.

معادلات مهم حاکم بر انتقال نمک‌ها در خاک

معادله جابجایی - انتشار نمک‌ها یا CDE[1]

به طور کلی جابجایی و انتشار نمک‌ها در خاک با سه مکانسیم انتقال توده‌ای، پخشیدگی مولکولی و انتشار مکانیکی انجام می‌گیرد. با در نظر گرفتن تأثیر همزمان این سه فرآیند بر حرکت نمک‌ها در خاک و در شرایط غیر همگام معادله زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial(q\,C)}{\partial t} = -\frac{\partial(nq\,C)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}(D_e \frac{\partial C}{\partial z}) \qquad [1]$$

که در آن، C غلظت نمک‌ها در محلول آب خاک (M/L^3) و z فاصله (L)، v، سرعت جریان و q رطوبت حجمی خاک است. رابطه بالا به رابطه جابجایی – انتشار (CDE) در خاک برای نمک‌ها و یون‌های غیر واکنش‌گر معروف است که در آن D_e، ضریب انتشار هیدرودینامیکی می‌باشد. این رابطه، برای بررسی حرکت نمک‌ها در محیط‌های همگن مناسب است. برای جریان همگام آب که لزوما به معنای جریان همگام نمک‌ها نیست، مقادیر n، q و D_e ثابت بوده و رابطه بالا به شکل زیر در می‌آید:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -n\frac{\partial C}{\partial z} + D\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \qquad [2]$$

که در آن، $D = \frac{D_e}{q}$ است.

مدل روان – ساکن یا MIM[2]

نتایج خیلی از پژوهش‌ها به ویژه در خاک‌های غیرهمگن نشان می‌دهد فقط بخشی از آب موجود در خاک در انتقال نمک‌ها دخالت دارد. بر این اساس می‌توان آب موجود در خاک را به دو بخش متحرک و غیر متحرک تقسیم کرد. بخشی از آب موجود در خاک را که در انتقال توده ای نمک‌ها نقش دارد، در اصطلاح بخش متحرک و بخش دیگر آب موجود در خاک را که غیر متحرک است، در اصطلاح بخش ساکن می‌نامند. بر این اساس مدل فیزیکی غیر تعادلی یا دو ناحیه‌ای یا مدل روان- ساکن (MIM) اولین بار توسط کوتس و اسمیت (1956)، در مسائل مهندسی نفت پیشنهاد شد. این مدل که بعدها توسط محققان دیگر برای بررسی حرکت نمک‌ها در خاک نیز مورد استفاده قرار گرفت، به صورت زیر است (ون گنوختن و وگنت 1989):

$$\theta_m \frac{\partial C_m}{\partial t} + \theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(D_e \frac{\partial C_m}{\partial z}\right) - \frac{\partial(q_m C_m)}{\partial z} \qquad [3]$$

$$q_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = a\,(C_m - C_{im}) \qquad [4]$$

که در آن، q_m و q_{im} به ترتیب رطوبت حجمی در ناحیه روان و ساکن، C_m و C_{im} غلظت نمک‌ها در ناحیه روان و ساکن (ML^{-3})، q_m شدت جریان در ناحیه

[1] Convection-dispersion equation

[2] Mobile-immobile model

Archive of SID

www.SID.ir

روان (LT^{-1})، a ضریب تبادل جرمی نمک‌ها (T^{-1}) بین دو ناحیه روان و ساکن و (D_e) ضریب انتشار است.

نرم‌افزار Hydrus-1D

نرم‌افزار Hydrus-1D یکی از مدل‌های پیشرفته در ارتباط با حرکت یک بعدی آب، نمک‌ها و گرما در خاک می‌باشد. این مدل توسط سیمونک و همکاران (1998) در آزمایشگاه شوری خاک آمریکا بسط داده شده است، و شامل حل عددی معادله ریچاردز برای بررسی حرکت آب در خاک و معادلات جابجایی- انتشار برای بررسی حرکت نمک‌ها و گرما در خاک است. معادلات مربوط، به روش عناصر محدود حل گردیده‌اند. این مدل قادر به شبیه‌سازی حرکت نمک‌ها در شرایط اشباع و غیراشباع است و ویژگی‌های خاک را به روش معکوس تخمین می-زند (عباسی 1386).

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر کاربرد زئولیت پتاسیمی در جذب و نگهداری یون نیترات در شرایط آزمایشگاهی و خاک اشباع با چهار تیمار مختلف کاربرد زئولیت و شبیه‌سازی حرکت آنها با استفاده از نرم‌افزار Hydrus-1D انجام شد. یکی از این چهار تیمار به عنوان شاهد و فاقد زئولیت و سه تیمار دیگر به ترتیب شامل 2، 4 و 8 گرم زئولیت پودری در هر کیلوگرم خاک می‌باشد. این پژوهش در قالب یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. ویژگی‌های خاک مورد استفاده به صورت جدول 1 می‌باشد.

جدول1- مشخصات خاک مورد استفاده در پژوهش

عمق(cm)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت	چگالی ظاهری (g/cm^3)	چگالی واقعی (g/cm^3)	تخلخل (%)	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH
0-25	71	22	7	لوم شنی	1/42	2/65	46	2/29	7/77

نیترات آمونیوم خالص حاوی 35 درصد نیتروژن، به عنوان کود، مورد استفاده قرار گرفت. ستون‌های خاک مورد استفاده در این پژوهش، لوله‌های پلی اتیلن به قطر داخلی 10/5 سانتی‌متر و ارتفاع 50 سانتی‌متر بودند. در آنها تا ارتفاع 30 سانتی‌متری از خاک مورد نظر به همراه مقدار مشخص زئولیت (با توجه به تیمار آزمایش) ریخته شد. در ارتفاع 31 سانتی‌متری از کف، دو سوراخ تعبیه شد که یکی ورودی و دیگری خروجی آب بود. هدف از این کار ایجاد یک ارتفاع ثابت آب روی نمونه‌های خاک بود. انتهای ستون‌ها نیز با استفاده از کاغذ صافی و توری پلاستیکی و مفتول سیمی کاملا بسته شد. نمونه‌های خاک مورد نظر ابتدا در هوای آزاد، پهن و خشک گردیدند و پس از کوبیده شدن، از الک شماره 10 (2 میلیمتری) عبور داده شدند. پس از آن برای هر تیمار، مقدار زئولیت لازم اضافه شد. سپس ستون‌های خاک تهیه شده، در داخل سطل آب قرار داده شدند تا از پایین به بالا اشباع شوند. سپس ستون‌ها برای کلیه تیمارها و تکرارها به صورت عمودی با مفتول سیمی به جسمی پایدار محکم شدند. به این ترتیب که ابتدا ستون‌ها روی قیف‌هایی قرار گرفتند. این قیف‌ها نیز خود روی سه پایه‌هایی فلزی قرار داشتند. برای جمع آوری زهاب خروجی از ستون‌ها نیز در پایین قیف‌ها استوانه مدرج قرار داده شد. سپس کود نیترات آمونیوم با غلظت 10 گرم بر لیتر روی ستون خاک اشباع ریخته شد. پس از نفوذ کامل محلول نیترات آمونیوم، شیر آب باز شد، و بار آبی به اندازه 1 سانتی‌متر روی سطح خاک اعمال گردید. مقدار نیترات آمونیوم خالص با توجه به مقدار حداکثر کودی که به اراضی شالیزاری داده می-

Archive of SID
www.SID.ir

شود، 1000 کیلوگرم در هکتار بود که معادل 350 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص می‌باشد که پس از تقسیم به سطح ستون خاک ($86/6 cm^2$) به 0/866 گرم تبدیل می‌شود. بدین ترتیب که مقدار 0/866 گرم نیترات آمونیوم در 86/6 سانتی‌متر مکعب آب حل و روی ستون خاک ریخته شد. نمونه گیری‌ها در حجم تخلخل‌های 0/1، 0/3، 0/5، 0/7، 1، 1/3، 1/7، 1/9، 2و 2/5 از زه آب خروجی به میزان 150 سانتی‌متر مکعب، جهت تعیین غلظت یون نیترات انجام شد.

روش مدل‌سازی

با توجه به مطالعات قبلی ایزوترم جذب فروندلیچ که به صورت زیر تعریف می‌شود، برای جذب نیترات در نظر گرفته شد (مرادزاده و همکاران 1391، معاضد 2008).

$$C* = \frac{x}{m} = K_f C_e^{\ b} \qquad [5]$$

که در رابطه فوق C_e: غلظت تعادلی ماده در محلول (mg/cm^3)، x: مقدار ماده محلول جذب شده (mg/l)، b و K_F: ضرایب تجربی و m: جرم جاذب (g) می‌باشد.

از میان پارامترهای مختلف هیدرولیکی و انتقال نمک‌ها، با استفاده از تحلیل حساسیت، پارامترهای اصلی که با تغییر مقدار آن‌ها نتایج نرم‌افزار دستخوش تغییر قابل ملاحظه می‌شوند، شناسایی گردیدند. در نرم‌افزار Hydrus-1D، مقادیر پارامترهای انتقال نمک‌ها b و K_F (ضرایب مربوط به ایزوترم جذب فروندلیچ) و ضریب پخشیدگی (Dif) و انتشار (Dis) با استفاده از روش حل معکوس، با هر دو مدل CDE و MIM تعیین گردیدند. ملاک عمل برای به پایان رساندن اجرای برنامه و قبول پارامترهای تعیین شده توسط نرم‌افزار، نمایه SSQ[1] می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$SSQ = \sum_{i=1}^{N} \left(Xi_{obs} - Xi_{sim} \right)^2 \qquad [6]$$

در رابطه بالا Xi_{obs} و Xi_{sim} به ترتیب مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی غلظت یون نیترات و مقادیر شبیه‌سازی شده به وسیله نرم‌افزار می‌باشند. در مرحله واسنجی، پس از وارد کردن مقادیر اولیه هر کدام از متغیرها در مدل، نرم‌افزار به پردازش داده‌ها می‌پردازد و مقادیر نهایی را برآورد می کند. در هر تکرار همزمان با برآورد متغیرها، SSQ نیز محاسبه می‌شود. پس از هر بار اجرای نرم‌افزار، دوباره مقادیر جدید محاسبه شده (بهینه شده) در مدل قرار می‌گیرد و دوباره این عمل تکرار می‌گردد. پایان محاسبات زمانی است که مقادیر برآورد شده به یک مقدار ثابت و SSQ به یک مقدار ثابت و حداقل میل کنند. از آنجایی که این نرم‌افزار از سرعت همگرایی زیادی برخوردار است، پس از چند تکرار به سرعت جواب نهایی را برآورد می‌کند.

شرایط مرزی و اولیه برای جریان آب

مرز بالایی ستون برای جریان آب، شرایط فشار ثابت[2] در نظر گرفته شد. به لحاظ اینکه در شرایط آزمایشگاهی نیز در کل زمان آزمایش همواره فشار یک سانتی‌متری به ستون‌های خاک اعمال شد. برای مرز پایینی ، شرط نشت[3] در نظر گرفته شد، زیرا این نوع شرط مرزی اغلب برای ستون‌های خاک در شرایط آزمایشگاهی و برای حالتی که از پایین با هوا و فشار صفر در تماس می‌باشند استفاده می‌شود. برای شرط اولیه نیز شرط ارتفاع فشار انتخاب شد، زیرا فشار در بالا و پایین ستون‌های مورد آزمایش همواره در طول آزمایش ثابت بود.

شرایط اولیه و مرزی برای انتقال نمک‌ها

از آنجایی که مقدار کود اضافه شده به ستون های خاک به صورت یک جریان از بالا به خاک اضافه شد، شرط مرزی بالادست برای انتقال نمک‌ها در مدل، شرط شدت جریان نمک‌ها[4] (J_c) انتخاب گردید.

$$J_c = qC \qquad [7]$$

[1] Sum of squares

[2] Constant pressure head

[3] Seepage face

[4] Concentration flux BC

Archive of SID

www.SID.ir

که در معادله فوق C غلظت یون ورودی در ستون خاک (M/L^3) و q سرعت جریان آب در خاک (L/T) می-باشد که در اینجا با توجه به غلظت کود نیترات آمونیوم ورودی که 10 گرم در لیتر می‌باشد، برای یون آمونیوم محاسبه و وارد نرم‌افزار شد. شرط مرزی پایین‌دست نیز در نرم‌افزار برای انتقال نمک‌ها شرط گرادیان صفر[1] در نظر گرفته شد. زیرا از پایین، ستون‌های خاک با هوا در تماس بودند. برای تعیین میزان غلظت اولیه یون نیترات در ستون‌های خاک قبل از اعمال کود، مقدار مناسبی عصاره اشباع از خاک تهیه شد. به عنوان شرط اولیه در مدل، مقدار غلظت یون نیترات در ستون خاک، 0/0405 میلی گرم بر سانتی‌متر مکعب در آزمایشگاه تعیین گردید.

نتایج و بحث

تاثیر اضافه کردن زئولیت به خاک در نگهداری یون نیترات

نتایج نشان داد که افزایش استفاده از زئولیت در خاک باعث نگهداشت بیشتر یون نیترات در خاک می-شود. علت را می‌توان در خصوصیات عنوان شده برای زئولیت، مانند ساختار قفس مانند آن و در نتیجه به دام افتادن یون نیترات در شبکه‌های آن جستجو کرد. همچنین عامل دیگر را می‌توان به توانایی زئولیت در جذب و نگهداشت آب تا 70 درصد وزنی خود نسبت داد. با توجه به شکل‌های 1 و 2، منحنی‌های رخنه مربوط به یون نیترات، متقارن و زنگوله‌ای نیستند. علاوه بر اینکه یون نیترات با ترکیب خاک و زئولیت جذب شد دوباره پرشدن ستون‌های خاک و فشردگی خاک ستون‌ها نیز موجب این اتفاق گشته است. از طرفی آزاد شدن تدریجی یون نیترات به علت پدیده پخشیدگی بعد از جریان توده-ای نیز سبب این تاخیر و کشیدگی منحنی رخنه در حجم تخلخل‌های بالا بوده است. این تاخیر بیشتر به این علت بوده‌است که پس از اینکه جریان توده‌ای حجم زیادی از نیترات را خارج کرد پخشیدگی عرضی در منافذ ریزتر رخ داده است. رفتار مشاهده شده با نظرات جوری و همکاران(1991) مطابقت دارد. با محاسبه سطح زیر منحنی رخنه برای یون نیترات در تیمارهای بدون زئولیت، درصد نیترات خروجی (93/88)، تقریبا برابر مقدار ماده اضافه شده به سطح خاک می‌باشد. این موضوع نشان دهنده شسته شدن تقریبا تمامی یون نیترات در طی آزمایش است (جدول2). ولی در تیمارهای دارای زئولیت سطح زیر منحنی رخنه کمتر از مقدار ماده اضافه شده به خاک می‌باشد که این موضوع نشان دهنده اثر زئولیت بر نگهداشت یون نیترات در خاک می-باشد. این امر در مقدار حداکثر نمک‌های خروجی در منحنی رخنه نیز به خوبی قابل مشاهده است. در تیمار شاهد و کاربرد زئولیت به میزان 2، 4 و 8 گرم در کیلوگرم خاک، مقدار نیترات خارج شده به طور میانگین به ترتیب برابر 93/88، 73/91، 59/62 و 53/61 درصد مقدار اضافه شده به سطح خاک می‌باشد. همچنین برای درصد نیترات خروجی و میزان حداکثر Fآزمون غلظت نیترات خروجی از انتهای ستون خاک و اختلاف بین تیمارها در سه تکرار در سطح معنی‌داری 5 درصد انجام شد. برای هر دو مورد این اختلاف معنی دار گردید. برای مقایسه دو به دوی بین تیمارها نیز از دو استفاده شد. بر این اساس هر دو LSDآزمون توکی و نشان دادند که اختلاف درصد LSDآزمون توکی و نیترات خروجی در تمامی تیمارها به صورت دو به دو در سطح معنی‌داری 5 درصد معنی دار بوده‌است. همچنین آزمون توکی نشان داد که اختلاف حداکثر میزان نیترات خروجی در تیمار بدون کاربرد زئولیت با تیمار 2 گرم زئولیت در کیلوگرم خاک معنی دار نیست. همچنین بر اساس این آزمون معلوم شد که بین تیمارهای 4 و 8 گرم زئولیت در کیلوگرم خاک، اختلاف حداکثر میزان نیترات خروجی معنی دار نمی‌باشد. بین سایر تیمارها، LSDدو به دو اختلاف‌ها معنی دار بوده‌است. اما آزمون نشان داد که فقط بین تیمار بدون کاربرد زئولیت با تیمار 2 گرم زئولیت در کیلوگرم خاک اختلاف معنی دار نیست.

[1] Zero gradient

Archive of SID
www.SID.ir

البته از گفتن این نکته نیز نباید گذشت که معنی‌دار بودن اختلاف در کاربرد زئولیت در تیمار 4 و 8 گرم زئولیت در کیلوگرم خاک، در این آزمون با سطح معنی داری 0/045 که به عدد 0/05 خیلی نزدیک می‌باشد، تایید شد.

جدول 2- درصد نیترات خروجی از ستون‌های خاک در تیمارها و تکرارها ی مختلف

تیمار	مقدار کاربرد زئولیت(g/kg)			
تکرار	0	2	4	8
1	94/29	74/48	60/26	52/75
2	95/48	75/61	58/22	54/97
3	91/86	71/62	60/37	53/09
میانگین	93/88	73/91	59/62	53/61

شبیه‌سازی و واسنجی با نرم‌افزار Hydrus-1D

برای واسنجی نرم‌افزار، یکی از تکرارهای هر تیمار آزمایشی برای یون نیترات مورد استفاده قرار گرفت و از دو تکرار دیگر هر تیمار برای آزمون نرم‌افزار Hydrus-1D که برای هر تیمار کاربرد زئولیت و یون نیترات واسنجی شد، استفاده گردید.

جدول3- ضرایب مربوط به ایزوترم جذب فروندلیچ و ضریب پخشیدگی و ضریب انتشار طولی یون نیترات با دو مدل CDE و MIM.

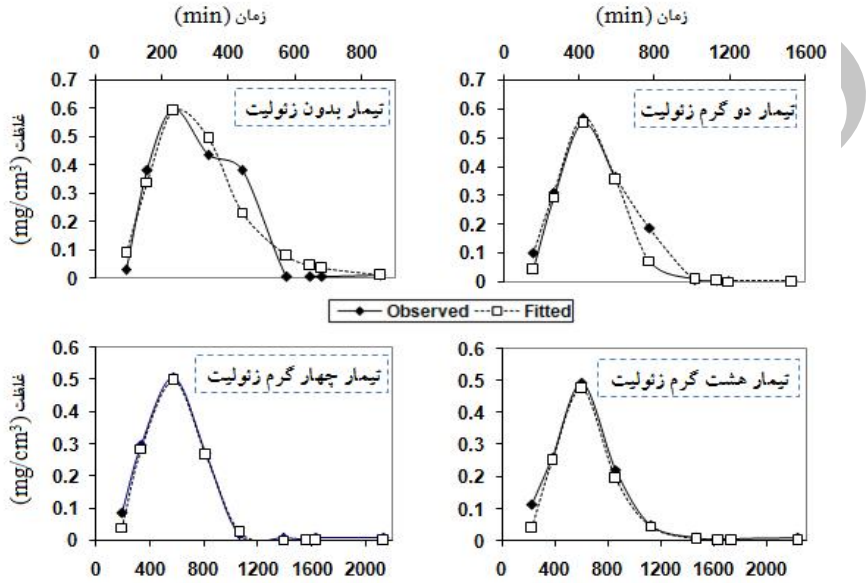
تیمار	مدل	b	K_d	$Dif(cm^2/min)$	$Dis(cm^2/min)$	SSQ
صفر گرم زئولیت	*CDE*	1/278	0/009746	0/5532	6/010	0/03874
	MIM	1/357	0/01727	0/6723	7/451	0/03877
دو گرم زئولیت	*CDE*	4/971	0/6842	0/4945	11/88	0/01699
	MIM	5/060	0/6995	0/5605	12/98	0/01707
چهار گرم زئولیت	*CDE*	2/87	0/9032	0/4771	18/44	0/002525
	MIM	2/848	0/9303	0/1884	23/77	0/002629
هشت گرم زئولیت	*CDE*	1/160	1/171	0/4307	60/88	0/006671
	MIM	1/161	1/159	0/1580	62/72	0/006672

همان‌طور که در جدول 3 مشاهده می‌شود برای یون نیترات، در هر تیمار کاربرد زئولیت با توجه به کمتر بودن نمایه آماری SSQ، مدل CDE برآورد بهتری از ضرایب، نسبت به مدل MIM دارد. مطالعات قبلی نیز نشان داد که در خاک‌های دست‌خورده مدل CDE دقت بیشتری دارد. از آنجایی که خاک مورد آزمایش نیز دست‌خورده بوده‌است، صحت نتایج، با مطالعات مرادی و همکاران (2005) و همچنین تحقیقات بوخولد و همکاران (1992) مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقادیر ضریب انتشار طولی برای یون نیترات به طور کلی با افزایش کاربرد زئولیت افزایش می‌یابد. با توجه به شکل‌های 1 و 2 نیز مشخص است که با افزایش مقدار کاربرد زئولیت و در نتیجه افزایش ضریب انتشار طولی، پالس نمک‌ها بیشتر پراکنده می‌شود و ارتفاع منحنی رخنه کاهش می‌یابد. که این مورد به علت جذب بیشتر یون نیترات با افزایش مقدار زئولیت در ستون‌های

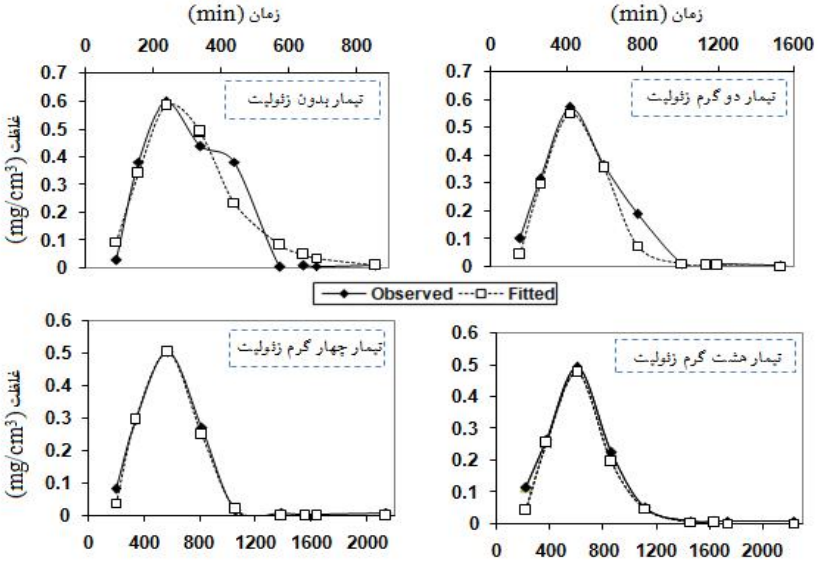
Archive of SID

www.SID.ir

خاک بوده‌است. ضرایب پخشیدگی نیترات نیز با افزایش کاربرد زئولیت روندی کاهشی دارد. با توجه به شکل-های 1 و 2 می‌توان شبیه‌سازی آبشویی یون‌ها را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه نمود. مشاهده می‌شود، قسمت بالارونده منحنی با قسمت پایین‌رونده آن دارای شیب یکسانی نمی‌باشد که این مساله به خاطر تشکیل نسبی ساختمان در ستون خاک می‌باشد. هرچند که خاک ستون‌ها دست‌خورده بوده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با به کار بردن هر دو مدل CDE و MIM تحت نرم‌افزار Hydrus-1D، برازش خوبی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده مشاهده می‌شود.



شکل1- شبیه‌سازی آبشویی یون نیترات با مدل CDE.



شکل2- شبیه‌سازی آبشویی یون نیترات با استفاده از مدل MIM.

www.SID.ir

آزمون نرم‌افزار Hydrus-1D

پس از انجام واسنجی، برای هر تیمار خاک و زئولیت، از دو تکرار دیگر هر تیمار برای آزمون نرم‌افزار استفاده شد. به این ترتیب که این بار فقط اطلاعات مربوط به منحنی رخنه شامل زمان و غلظت وارد نرم-افزار شد و مدل اجرا گردید. سپس ضرایب مربوط به ایزوترم جذب فروندلیچ و ضرایب پخشیدگی و انتشار با دو مدل CDE و MIM محاسبه شد. نتایج نشان داد که SSQ تکرارهای آزمون هر تیمار کاربرد زئولیت، نظیر به نظیر، نزدیکی قابل قبولی با مقادیر واسنجی داشته‌اند.

مقایسه آماری برای ارزیابی دقت نرم‌افزار

با استفاده از برخی روش‌های آماری، دقت نرم-افزار Hydrus-1D در برازش مشاهدات آزمایشگاهی منحنی رخنه، برای هر دو حالت واسنجی و آزمون هر دو مدل CDE و MIM بررسی گردید. بدین منظور از بعضی از شاخص‌های آماری استفاده شد. نخست به معرفی شاخص‌های آماری به کار رفته و شرح مختصری از این روش‌ها پرداخته می‌شود.

معرفی شاخص‌های آماری

اختلاف نسبت به خط 45 درجه

$$Xi_{sim} = aXi_{obs} \rightarrow a = \frac{Xi_{sim}}{Xi_{obs}} \qquad [8]$$

که در رابطه بالا Xi_{sim} مقادیر شبیه‌سازی شده، Xi_{obs} مقادیر مشاهده شده و a شیب خط برازش می-باشد. در این معادله مقادیر $a\langle 1$ نشان‌دهنده پیش‌بینی کمتر از مقدار واقعی و مقادیر $a\rangle 1$ نشان‌دهنده پیش‌بینی بیشتر از مقدار واقعی است. بهینه ترین مقدار a برابر یک و این شاخص نشان دهنده روند کلی مقدار خطا می-باشد.

شاخص ضریب تبیین (R^2)

این شاخص مشخص کننده مناسب بودن برازش معادله رگرسیونی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده شده می‌باشد و بهینه‌ترین مقدار R^2 برابر یک است (ابراهیمیان و لیاقت 2011).

درصد متوسط خطای پیش‌بینی (E_r)

مقدار درصد متوسط خطای پیش‌بینی نیز به صورت زیر است (بهرامی و همکاران 1388):

$$E_r = \left|(1-a)\right| \times 100 \qquad [9]$$

به طور کلی شاخص E_r نشان دهنده روند کلی مقدار خطا می‌باشد. با توجه به نتایج، برای حالت واسنجی نرم‌افزار Hydrus-1D برای یون نیترات، مقدار a کمتر از یک است. یعنی برآورد نرم‌افزار Hydrus-1D به طور کلی از مقدار مقادیر مشاهداتی کمتر بوده‌است. ولی مقادیر a برای هر دو مدل CDE و MIM تقریبا به یک نزدیک می‌باشد. به طوری که از 0/92 تا 0/98 در نوسان بوده‌است. همچنین برای حالت آزمون نرم‌افزار در پیش‌بینی مقدار غلظت یون نیترات، مشاهده می‌شود که نرم‌افزار Hydrus-1D توانایی خوبی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی غلظت یون نیترات داشته‌است. به‌طوری که در هر دو تکرار آزمون و برای هر دو مدل CDE و MIM، در اینجا نیز مقدار a به عدد یک نزدیک بوده-است و بین مقادیر 0/92 تا 0/99 در نوسان می‌باشد. مقادیر بالا و نزدیک به یک a، برای حالت آزمون نرم-افزار نشان از این دارد که نرم‌افزار برای هر تیمار کاربرد زئولیت به خوبی واسنجی شده است. برای حالت آزمون نیز به تبعیت از حالت واسنجی، نرم‌افزار مقادیر غلظت یون نیترات منحنی رخنه را کمتر از میزان اندازه-گیری شده نشان می‌دهد. مقدار R^2 برای حالت واسنجی نرم‌افزار برای یون نیترات بین 0/9 تا 0/99 در تغییر بوده‌است. برای حالت آزمون نیز مقادیر R^2 از روند حالت واسنجی خود برای یون نیترات تبعیت می‌کنند. به طوری که مقادیر R^2 برای یون نیترات بین 0/9 تا 0/99 نوسان کرده است. شاخص Er برای حالت واسنجی یون نیترات بین مقادیر 2/3 و 8/1 در تغییر بوده‌است. دامنه تغییرات این مقادیر برای آزمون هر دو تکرار یون نیترات بین 0/9 و 8/5 قرار دارد. به طور کلی با مقایسه تمامی شاخص‌های آماری، شبیه‌سازی حرکت یون نیترات، توسط نرم‌افزار به خوبی انجام شده است و نتایج نشان

Archive of SID

www.SID.ir

می‌دهد که مقادیر محاسبه شده مربوط به ضرایب ایزوترم جذب فروندلیچ و ضرایب پخشیدگی و انتشار با دو مدل CDE و MIM برای حالت آزمون به حالت واسنجی نزدیک بوده‌است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقدار زئولیت پتاسیمی در خاک باعث کاهش شستشوی نیترات و افزایش نگهداشت آنها در خاک شده است و از انتقال آنها به آب‌های زیر زمینی و در نتیجه آلودگی آن جلوگیری می‌نماید. به ترتیب کاربرد 2، 4 و 8 گرم زئولیت در کیلوگرم خاک باعث کاهش شستشوی نیترات در خاک، به میزان 21/27، 36/49 و 42/89 درصد نسبت به تیمار شاهد گردید. اما در تیمارهای حاوی 2، 4 و 8 گرم زئولیت در کیلوگرم خاک مقدار کل نیترات خروجی از ستون خاک به ترتیب 73/91، 59/62 و 53/61 درصد اضافه شده به سطح خاک می‌باشد. هر دو مدل CDE و MIM نشان دادند که افزایش زئولیت باعث کاهش ضریب پخشیدگی و افزایش ضریب انتشار نیترات در خاک می‌شود. نتایج نشان داد که نرم‌افزار Hydrus-1D با دقت قابل قبولی توانست ضرایب هیدرودینامیک خاک را برآورد کند. همچنین با توجه به دست‌خورده بودن نمونه‌های خاک، مدل CDE نسبت به مدل MIM کارایی بهتری داشت. مدل MIM به دلیل داشتن پارامترهای بیشتر و دشواری تخمین آنها، نسبت به مدل CDE کارایی کمتری دارد. این مشکلات موقعی که فرایند جذب نیز درمدل مذکور منظور شود، دو چندان خواهد شد. زیرا برای هر کدام از نواحی روان و ساکن، بسته به اینکه چه ایزوترمی برای جذب در نظر گرفته شود، یک تا چند پارامتر دیگر باید تعیین شود. همین طور، در شرایط اشباع، نسبت رطوبت روان به رطوبت کل تقریبا برابر یک است و استفاده از مدل MIM برای توصیف انتقال نمک‌ها در خاک به دلیل دقت کم پارامترهای تخمینی به ویژه ضریب تبادل نمک‌ها بین فاز روان و ساکن توصیه نمی‌شود. مدل MIM در محیط‌های غیراشباع کارایی بیشتری نسبت به مدل CDE دارد. نتایج نیز نشان داد که مدل CDE در شرایط پایدار رطوبتی و به ویژه در حالت اشباع کارایی بهتری دارد. با وجود مزایا و ضعف مدل‌های به کار رفته، به طور کلی نتایج پژوهش حاضر و سایر پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد نتایج مدل‌های CDE و MIM مشابه است (عباسی 2003، عباسی و همکاران 2004).

سپاسگزاری

نویسنده اول مقاله حاضر، مصطفی مرادزاده، با اجازه سایر نویسندگان، این پژوهش را به روان پاک مادر خود، (زرین) کبری رجبی فومنی، تقدیم می کند و از او به خاطر تمام فداکاری هایش چه به عنوان مادری مهربان و چه آموزگاری وظیفه شناس که سی سال به تربیت و آموزش علم و اخلاق به فرزندان این مرز و بوم همت گماشت، سپاسگزاری می کند.

منابع مورد استفاده

بهرامی م، برومندنسب س و ناصری ع، 1388. مقایسه مدل هیدرولوژیک ماسکینگام-کونژ با مدل‌های هیدرولیک آبیاری در برآورد مرحله پیشروی آبیاری جویچه‌ای. مجله آبیاری و زهکشی ایران. جلد3، شماره 2، صفحه‌های49-40.

عباسی ف، 1386. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران

مرادزاده م، معاضد ه و صیاد غ، 1391. جذب دینامیک آمونیوم به وسیله یک خاک لوم شنی تیمارشده با زئولیت و ارزیابی معادلات جابجایی – انتشار و رطوبت متحرک- غیر متحرک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال 16، شماره 62، صفحه‌های 175-163

Archive of SID
www.SID.ir

میرزا م، میر سید حسینی ح، معزاردلان م و شیردست م، 1385. بررسی روند حرکت نیتروژن در ستون خاک و میزان آبشویی آن از منابع مختلف کود ازته. همایش خاک محیط زیست و توسعه پایدار. 17 و 18 آبان. کرج - پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

Abbasi F, 2003. Field-scale analyses of water flow and solute transport in furrows. PhD Thesis, No. 555, K.U. Leuven, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologsche Wetenschappen, Leuven, Belgium.

Abbasi F, Feyen J and van Genuchten M. Th, 2004. Two dimensional simulation of water flow and solute transport below furrows: Model calibration and validation. Journal of Hydrology 290 (1-2): 63-79.

Boekhold A E and van der Zee SEATM, 1992. A scale sorption model validation at the column scale to predict cadmium content in a spatially variable field soil. Soil Sci 154(2): 105-112.

Celik M. S, Ozdemir B and Turan M, 2001. Removal of ammonia by natural clay mineral using fixed and fluidized bed column reactors. Water Science and Water Technology: Water Supply1(1): 81-88.

Cernik M, Federer P Borkovec M and Sticher H, 1994. Modeling of heavy metal transport in contaminated soil. Journal of Environmental Quality 23:1239-1248

Coats K and Smith B D, 1956. Dead end pore volume and dispersion in porous media. Society of Petroleum Engineers Journal 4: 73-84.

Ebrahimian H, Liaghat A, 2011. Field evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. Soil and Water Research 6 (2): 91–101.

Fuentes R., Caceres L, Molina M, Iravena S, Cazanga M, Calder R and Escudey M, 2008. Use of Hydrus-1D to describe the transport of nitrate in a volcanic soil affected by sewage sludge, sewage sludge ash, and pinus radiata ash amendments. 5th International Symposium ISMOM. November 24 – 28, Chile.

Jellali S, Diamantopoulos E, Kallali H, Bennaceur S, Anane M and Jedidi N, 2010. Dynamic sorption of ammonium by sandy soil in fixed bed columns: Evaluation of equilibrium and non-equilibrium transport processes. Journal of Environmental Management 91: 897–905.

Jury WA, Gardner WR, Gardner WH , 1991. Soil Physics. John Wiley & Sons, Inc, New York.

Katterer T, Schmied B, Abbaspour K.C and Schulin R, 2001. Single-and dual-porosity modeling of multiple tracer transport through soil columns: effect of intial moisture and mode of application. European Journal of Soil Science 52: 25-36.

Li Z, 2002. Use of surfactant –modified zeolite as fertilizer carriers to control nitrate release. Microporous and Mesoporous Material 61: 181-188.

Li Z, Willms C and Roy S, 2003. Desorption of hexadecyl trimethyl ammonium from charged surface. Environmental Geoscience 10(1): 37-45.

Moazed H, 2008. Ammonium Ion removal from wastewater by a natural resin. Journal of Environmental Science and Technology 1(1): 11-18.

Moradi A, Abbaspour K. C and Afyuni M, 2005. Modling field-scale cadmium transport below the root zone of a sewage sludge amended soil in arid region of central Iran. Journal of Contaminant Hydrology 42:99-111.

Polat E, Karaca M, Demir H and Naci Onus A, 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 12:183-189.

Seuntjens P, Mallants D, Cornelis C and Geuzens P, 2001b. Nonequilibrium cadmium leaching in layered sandy soils. Soil Science 166: 507-519.

Seuntjens P, Tirez K, Simunek J, van Genuchten M. Th, Cornelis C and Geuzens P, 2001a. Aging effect on cadmium transport in undisturbed contaminated sandy soil column. Journal of Environmental Quality 30:1040-1050.

Archive of SID

www.SID.ir

Simunek J, Kohne M, Kodesova R and Sejna M, 2008. Smulating nonequlibirium movement of water, solutes and particle using HYDRUS-A review of recent applications. Soil & Water Research 3 (1): 42 - 51.

Simunek J, Sejna M and van Genuchten M. Th, 1998. The Hydrus-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solute in variably saturated media, Version 2.0, IGWMC-TPS-70, Int. Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Co.

van Genuchten M. Th and Wagenet R J, 1989. Two-site/two-region models for pesticide transport and degradation: Theoretical development and analytical solutions. Soil Science Society of America Journal 53(5): 1303-1310.

Wang Y, Kmiyaa Y and Okuharaa T, 2007. Removal of low-concentration ammonia in water by ion-exchange using Na-mordenite. Water Research 41: 269-276.

Zwingmann N, Singh B, Mackinnon I and Gilkes R, 2009. Zeolite from alkali modified kaolin increases NH4+ retention by sandy soil: Column experiments. Applied Clay Science 46: 7–12.

Archive of SID

www.SID.ir