نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 3، مرداد – شهریور 1396، ص. 796-785

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2017, p. 785-796

بررسی آبشویی نیترات و جذب نیتروژن توسط ذرت در شرایط آبیاری با پساب خام و تصفیه شده

مهرناز امینی[1] – حامد ابراهیمیان[2*]

تاریخ دریافت: 1394/11/07
تاریخ پذیرش: 1395/9/17

چکیده

امروزه استفاده از آب‌های غیرمتعارف از جمله پساب‌های شهری، خانگی و کشاورزی با توجه به اقلیم نیمه خشک در کشور و فشارهای شدید وارد شده بر منابع آب تجدیدپذیر مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این تحقیق، شبیه‌سازی انتقال نیترات در داخل خاک در شرایط آبیاری با دو نوع پساب با استفاده از مدل HYDRUS بود. در این راستا از اطلاعات یک فصل رشد گیاه ذرت واقع در کرج در سال 1389 و همچنین اطلاعات پساب‌های خام و تصفیه شده شهرک اکباتان به عنوان منبع آب آبیاری استفاده شد. نفوذ عمقی آب آبیاری، آبشویی نیتروژن- نیتراتی، جذب آب و نیتروژن- نیتراتی توسط گیاه شبیه‌سازی شد. مقدار آب جذب شده توسط گیاه و نفوذ عمقی به ترتیب 80 و 13 درصد از مقدار آب آبیاری بود. آبشویی نیتروژن-نیتراتی در محدوده زیر عمق توسعه ریشه ها در مدت یک فصل رشد گیاه ذرت آبیاری شده با پساب خام و تصفیه شده به ترتیب برابر 7/61 و 2/64 کیلوگرم در هکتار بدست آمد. جذب نیتروژن- نیتراتی توسط گیاه در شرایط آبیاری با پساب خام و تصفیه شده به ترتیب برابر 130 و 60/1 کیلوگرم در هکتار (معادل 76/2 و 81/9 درصد از مقدار نیتروژن- نیتراتی ورودی در پساب خام و تصفیه شده) بود. نتایج نشان داد که می‌توان از پساب‌ها علاوه بر منبع آب آبیاری، به عنوان منبع غذایی برای گیاه استفاده کرد و در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آب‌های غیرمتعارف، شبیه‌سازی، مدل HYDRUS، نفوذ عمقی، نیتروژن-نیتراتی

مقدمه

در یک قرن اخیر به دلیل افزایش رشد جمعیت و توسعه دامنه فعالیت‌های انسان در بخش‌های مختلف، مصرف سرانه آب به شدت افزایش یافته است. افزایش مصرف سرانه و نیز استفاده بی‌رویه از منابع آب سبب شده است که در بسیاری از مناطق جهان به خصوص نقاطی که به طور طبیعی با اقلیم نامناسب و محدودیت منابع آب روبرو هستند، شرایط بحرانی کمی و کیفی منابع آب بروز نماید. از این رو استفاده از منابع آبی غیرمتعارف از جمله پساب تصفیه‌خانه‌ها در این کشورها روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. کاربرد پساب‌ها به عنوان یک منبع دائمی آب در کشاورزی علاوه بر تأمین بخشی از نیازهای آبی این بخش، باعث صرفه جویی و دوام منابع آبی موجود نیز می‌گردد. علاوه بر این، وجود عناصر غذایی گیاهی موجود در پساب، مصرف کودهای شیمیایی و بالتبع آن اثرات زیست محیطی استفاده از آنها را کاهش می‌دهد. مطالعات انجام شده در نقاط مختلف جهان نشان داده است که برای بسیاری از محصولات آبیاری شده با پساب نیازی به افزودن کودهای شیمیایی و حیوانی وجود نداشته و از این جهت، صرفه جویی قابل توجهی در هزینه تولیدات کشاورزی صورت می‌پذیرد (5). مطابق تحقیقات انجام شده در دانشگاه فردوسی مشهد کاربرد پساب در آبیاری، با شرایط استفاده از کود حیوانی به میزان 25 تن در هکتار برابری می‌کند (1). اصلاح زمین‌های کشاورزی و افزایش حاصلخیزی آنها یکی از هزینه‌های عمده جاری در فعالیت‌های کشاورزی بوده و این در حالی است که پساب‌های خروجی از تصفیه خانه‌ها دارای مواد مغذی از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در حد مطلوب می‌باشند. به کارگیری پساب در کشاورزی اگر چه با فواید زیادی توأم است ولی چنانچه این امر بدون برنامه‌ریزی دقیق و اعمال مدیریت و نظارت صحیح انجام پذیرد می‌تواند اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی حاد و متعددی را در پی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به عدم پذیرش از سوی مردم، عدم وجود بازار مناسب برای عرضه محصولات تولیدی، اثر منفی روی گیاه،

1 و 2- دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
(* - نویسنده مسئول: (Email: ebrahimian@ut.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v31i3.52789

Archive of SID
www.SID.ir

شوری و سدیمی شدن خاک به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک و آلودگی منابع آب زیرزمینی به دلیل غلظت بالای نیتروژن موجود در پساب اشاره کرد (21). استفاده از مدل‌های ریاضی می‌تواند به مدیریت کاربرد پساب در آبیاری محصولات کشاورزی کمک کند.

مدل HYDRUS-1D یکی از مدل‌های پیشرفته در ارتباط با حرکت یک بعدی آب، املاح و گرما در خاک می‌باشد. این مدل توسط سیمیونک و همکاران (15) در آزمایشگاه شوری خاک آمریکا بسط داده شده است. تافته و سپاس‌خواه (19) از مدل HYDRUS-1D برای شبیه‌سازی حرکت آب و آبشویی نیترات در زمان بکارگیری مقادیر مختلف کود اوره در آبیاری ذرت و کلزا استفاده کردند. با توجه به نتایج حاصل، این مدل HYDRUS-1D توانست نفوذ عمقی آب و آبشویی نیترات را با وجود دو بعدی بودن جریان آب و نیترات در خاک با دقت بالایی شبیه‌سازی کند. راموس و همکاران (13) از HYDRUS-2D برای مدل‌سازی حرکت نیتروژن در پلات‌های کشت شده با سورگوم در سال‌های 2007 تا 2010 استفاده کردند. روش آبیاری از نوع قطره‌ای و تیمارهای در نظر گرفته شده شامل مقادیر مختلف نیتروژن و شوری در آب آبیاری بود. با توجه به رابطه بین جذب نیتروژن- نیتراتی ($N\text{-}NO_3$) تخمین زده و اندازه‌گیری شده در ماده خشک گیاه، نیاز نیتروژن گیاه کمتر از مقدار جذب نیتروژن تخمین زده شده برای تیماری با بیشترین کاربرد کود بود. آبشویی نیتروژن بستگی به مقدار آب آبیاری، مقدار کود به کار رفته، شکل نیتروژنی که در کود وجود دارد و زمان و تعداد رویدادهای کود آبیاری دارد. شبیه‌سازی با HYDRUS-2D در برنامه‌ریزی برای افزایش جذب و کاهش آبشویی مواد غذایی مفید بود. در این تحقیق جذب نیتروژن زمانی که رویدادهای کودآبیاری بیشتر و مقدار کود بکار رفته در هر رویداد کمتر بود، افزایش یافت. فوگت و همکاران (10) با استفاده از مدل HYDRUS 2D/3D حرکت آب را زیر درختان پرتقال شبیه‌سازی کردند. اندازه‌گیری‌های آماری ارتباط بین رطوبت شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده را در محدوده قابل قبول نشان دادند. جریان‌های زهکشی روزانه و تجمعی شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده به خوبی منطبق بودند. شکفته و همکاران (14) به شبیه‌سازی انتقال نیترات در خاک شنی با استفاده از مدل HYDRUS در یک سیستم آبیاری قطره‌ای برای دبی‌های مختلف قطره چکان و مقادیر مختلف کود پرداختند. نتایج آنها نشان داد که آبشویی نیترات با افزایش مقدار کود افزایش می‌یابد. براساس نتایج بدست آمده، با انتخاب دبی و مقدار کود مناسب آبشویی نیترات را می‌توان حتی در یک خاک شنی به حداقل رساند. پوریزدان‌خواه و همکاران (11) به بهبود کارایی مدل HYDRUS در اثر اعمال تغییرات زمانی پارامترهای هیدرولیکی خاک پرداختند. نتایج نشان داد که تغییر پارامترهای هیدرولیکی خاک در اولین بیاری محسوس بود. مدل در شبیه‌سازی رطوبت اعماق مختلف خاک عملکرد خوبی داشت. لی و همکاران (8)، میزان تعادل نیتروژن در یک مزرعه برنج را با شبیه‌سازی توسط مدل HYDRUS-1D ارزیابی کردند. با توجه به نتایج، مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده غلظت نیتروژن به خوبی انطباق داشت. بنابراین مدل HYDRUS-1D می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای استفاده بهینه از کود در کشاورزی و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی به‌کاربرده شود.

تعیین مقدار نفوذ عمقی، آبشویی نیترات و جذب آب و نیترات توسط گیاه در شرایط کاربرد پساب برای آبیاری محصولات کشاورزی مهم به نظر می‌آید تا بتوان در شرایط خشکسالی و کمبود آب خطر آلودگی منابع آب زیر زمینی و اثرات تخریبی ناشی از آبشویی نیترات بر محیط زیست را با مدیریت صحیح و پیش‌بینی آینده کاهش داد. به علاوه، پساب به عنوان یک منبع دائمی آب و مواد مغذی موجب می‌شود تا محصولات کشاورزی در زمان نیاز، آب و کود کافی و مناسب در اختیار داشته باشند. با تعیین مقدار جذب نیترات توسط گیاه می‌توان این مقدار را با نیاز کودی گیاه مقایسه کرد و در صورت نیاز از کود به عنوان منبع مکمل غذایی برای گیاه استفاده نمود. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، بررسی استفاده از پساب‌های خام و تصفیه شده برای آبیاری و شبیه‌سازی انتقال نیترات با استفاده از مدل HYDRUS در یک مزرعه ذرت بود.

مواد و روش‌ها

مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج به عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. موقعیت جغرافیایی منطقه شامل طول جغرافیایی 50 درجه و 57 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 35 درجه و 48 دقیقه شمالی با ارتفاع 1312 متر از سطح دریا است. برای آبیاری از پساب ورودی به تصفیه خانه اکباتان (پس از دانه‌گیری اولیه) و پساب تصفیه شده خروجی (پس از ته‌نشینی نهایی) استفاده گردید. کیفیت شیمیایی پساب‌های خام و تصفیه شده در جدول 1 آمده است (7). این مطالعه بر روی یک فصل کشت گیاه ذرت انجام شد. از آنجایی که خاک زراعی مناسب برای رشد ریشه ذرت در عمق بیش از 60 سانتی‌متر مشاهده نشد، رشد ریشه حدوداً به این عمق محدود شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در اعماق مختلف در جدول 2 آورده شده است. دور آبیاری 7 روز و ساعت آبیاری 12 ساعت در نظر گرفته شد. فصل رشد محصول ذرت 98 روز بود. بنابراین تعداد آبیاری‌ها برابر 14 بود. تاریخ کاشت و برداشت محصول به ترتیب 20 خرداد و 24 شهریور سال 1389 بود. در طول فصل رشد مقدار بارندگی ناچیز بود. مقدار تبخیر- تعرق (ET) توسط مدل CROPWAT (18) محاسبه شد. تغییرات تبخیر-تعرق روزانه در طول فصل رشد در شکل 1 آمده است. مقدار تبخیر-تعرق روزانه از 1/43 تا 12/33 میلی‌متر در روز

Archive of SID

www.SID.ir

متغیر بود. شدت آب آبیاری (I) نیز برای این دوره با استفاده از رابطه (1) محاسبه شد:

$$I = \frac{\sum_{n=1}^{T} ET}{\mu \times T} \quad (1)$$

که در آن، μ راندمان کاربرد آبیاری می‌باشد که مقدار آن در این تحقیق 0/8 در نظر گرفته شد (نفوذ عمقی آب آبیاری برابر 20 درصد است). T بیانگر ساعت آبیاری و n شماره روز است.

جدول 1- کیفیت شیمیایی پساب خام و تصفیه شده

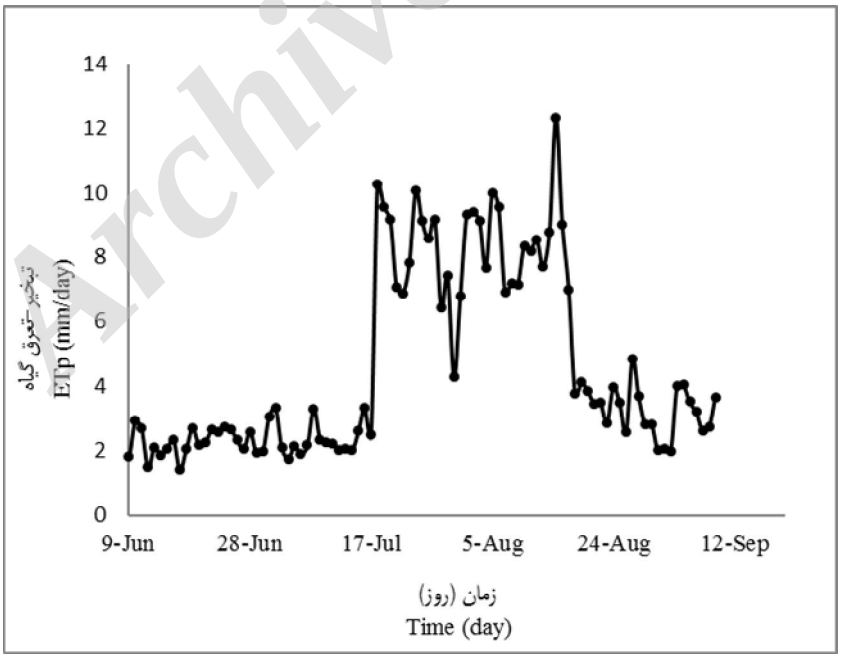
Table 1- Chemical quality of raw and treated wastewater

پارامتر	واحد	پساب خام	پساب تصفیه شده
نیاز اکسیژن بیولوژیکی Biochemical oxygen demand	(mg/L)	204.3	13.3
نیاز اکسیژن شیمیایی Chemical Oxygen Demand	(mg/L)	371.7	27
قابلیت هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	(ds/m)	0.77	0.59
اسیدیته (pH)	(-)	7.12	6.99
نسبت جذب سدیم Sodium Adsorption Ratio	$(meq/L)^{0.5}$	1.19	1.41
نیتروژن- نیتراته (NO_3-N)	(mg/L)	3.6	11.95
نیتروژن- آمونیوم(NH_4-N)	(mg/L)	28.3	1.57
فسفر- فسفات(PO_4-P)	(mg/L)	4.98	2.75
کادمیم Cadmium	(mg/L)	0.004	0.001
نیکل Nickel	(mg/L)	0.381	0.008

جدول 2- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2- Soil physical properties of experimental field

عمق Depth (cm)	اندازه ذرات خاک Soil particles (%)			رطوبت نقطه پژمردگی PWP ($g\ g^{-1}$)	رطوبت ظرفیت زراعی FC ($g\ g^{-1}$)	چگالی ظاهری Bulk Density ($g\ cm^{-3}$)	ماده آلی Organic matter (%)	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH (-)
	رس %	سیلت %	شن %						
0-20	28.5	32.2	39.3	0.128	0.273	1.50	1.83	2.76	7.63
20-40	26.3	29.7	44.0	0.118	0.255	1.46	1.18	2.02	7.71
40-60	19.1	21.5	59.4	0.097	0.222	1.49	0.68	1.98	7.71



شکل 1- تغییرات تبخیر-تعرق ذرت در طول فصل رشد گیاه

Figure 1- Variation of maize evapotranspiration during crop growing season

Archive of SID

www.SID.ir

مدل HYDRUS-1D

مدل HYDRUS-1D یکی از مدل‌های پیشرفته در ارتباط با حرکت یک بعدی آب، املاح و گرما در خاک می‌باشد. این مدل از حل عددی معادله ریچاردز (رابطه 2) برای شبیه‌سازی جریان آب و انتقال املاح در خاک استفاده می‌کند.

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left[K\left(\frac{\partial h}{\partial x}+\cos\alpha\right)\right]-S \quad (2)$$

که در آن، θ رطوبت حجمی (L^3L^{-3})، t زمان (T)، $K(\theta)$ هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک (LT^{-1})، h مکش ماتریک (L)، α زاویه بین مسیر جریان و محور عمودی (برای حرکت عمودی در خاک $\alpha=0$، برای حرکت افقی $\alpha=90$ و برای سایر مسیرها $0<\alpha<90$)، S جذب آب توسط ریشه ($L^3L^{-3}T^{-1}$) و X فاصله (L) است.

در این مدل، روابط متعددی برای توصیف مشخصات هیدرولیکی خاک نظیر منحنی رطوبتی و هدایت آبی غیر اشباع تعریف شده است. معمول‌ترین آن‌ها روابط وان گنوختن- معلم (20) به شرح ذیل است:

$$\theta(h)=\begin{cases}\theta_r+\frac{\theta_s-\theta_r}{[1+|\alpha h|^n]^m} & h<0\\ \theta_s & h\geq 0\end{cases} \quad (3)$$

$$K(h)=K_sS_e^l\left[1-\left(1-S_e^{1/m}\right)^m\right]^2 \quad (4)$$

$$m=1-\frac{1}{n} \quad (5)$$

$$S_e=\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r} \quad (6)$$

که در آن، θ_s رطوبت اشباع، θ_r رطوبت باقیمانده، α، m، n و l پارامترهای تجربی، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع و S_e اشباع نسبی است.

برداشت آب توسط ریشه (ترم S در معادله 2) براساس حجم آب برداشت شده توسط گیاه در واحد حجم خاک در واحد زمان تعیین می‌شود. در این مدل S، براساس رابطه فدس و همکاران (6) به صورت زیر تعریف شده است:

$$S(h)=\alpha(h)S_p \quad (7)$$

که در آن، $\alpha(h)$ تابع تنش آبی (رابطه 8) و S_P شدت پتانسیل جذب آب می‌باشد.

$$\alpha(h)=\begin{cases}\frac{h-h_4}{h_3-h_4} & h_3>h>h_4\\ 1 & h_2\geq h\geq h_3\\ \frac{h-h_4}{h_3-h_4} & h_1>h>h_2\\ 0 & h_4\geq h \text{ or } h\geq h_1\end{cases} \quad (8)$$

با توجه به رابطه 8، جذب آب در شرایط رطوبتی نزدیک به حالت اشباع و در نقطه پژمردگی برابر صفر فرض می‌شود. مقدار حداکثر جذب آب بین فشار h_2 و h_3 رخ می‌دهد، در حالی که در فشار بین h_3 و h_4 (یا h_1 و h_2)، جذب آب با تغییرات فشار به صورت خطی کاهش (یا افزایش) می‌یابد. مقدار S_p در رابطه 7، برابر نرخ جذب آب در طول دوره بدون تنش ($\alpha(h)=1$) است (16). مقادیر پارامترهای آستانه در رابطه‌ی 8 برای گیاه ذرت به ترتیب برابر، h_1=-15، h_2=-30، $h_{3(l)}$=-325، $h_{3(h)}$=-600 و h_4=-8000 می‌باشند (23).

حرکت املاح در خاک براساس معادله زیر بیان می‌شود (15):

$$\frac{\partial(\theta.C)}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}\left[\theta.D\left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)\right]-\frac{\partial(q.C)}{\partial z}+S_C \quad (9)$$

که در آن، C غلظت املاح ($M\ L^{-3}$)، D ضریب پخشیدگی نمک (ماده مورد نظر) در خاک (L^2T^{-1})، S_c ترم مربوط به جذب املاح توسط گیاه است.

همدمای جذب سطحی خطی یکی از ساده‌ترین همدماهای جذب می‌باشد و براساس معادله زیر بیان می‌شود:

$$S=K_dC \quad (10)$$

که در آن، S مقدار ماده‌ی جذب شده و C غلظت ماده‌ی مورد نظر در فاز مایع و K_d ضریب توزیع است.

شرایط اولیه و مرزی

شرط مرزی بالادست (سطح خاک) برابر جریان متغیر (variable flux) در نظر گرفته شد. زهکشی آزاد (free drainage) برای مرز پایینی در نظر گرفته شد. رطوبت اولیه خاک برابر با رطوبت در شرایط بحرانی (رطوبت خاک قبل از آبیاری) طبق رابطه 11 در نظر گرفته شد و این مقدار به عنوان شرایط اولیه در مدل منظور شد.

$$(\theta_{fc}-\theta_{pwp})\times MAD=(\theta_{fc}-\theta_c) \quad (11)$$

در این رابطه θ_{fc} و θ_{pwp} به ترتیب مقادیر رطوبت در حد ظرفیت زراعی و پژمردگی بر حسب درصد حجمی، MAD ضریب تخلیه مجاز رطوبتی و θ_c مقدار رطوبت بحرانی بر حسب درصد حجمی است.

پارامترهای ورودی به مدل

پارامترهای هیدرولیکی خاک

پارامترهای هیدرولیکی خاک (ضرایب معادله وان‌گنوختن-معلم) توسط مدل ROSSETA که مدلی واقع شده در HYDRUS است و بر اساس شبکه عصبی کار می‌کند، تعیین شد. با وارد کردن داده‌های بافت خاک، درصد دانه بندی خاک، درصد رطوبت در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم پارامترهای هیدرولیکی خاک برآورد می‌شود. مقادیر عددی این پارامترها برای اجرای مدل HYDRUS ضروری می‌باشد. مقادیر عددی این پارامترها در جدول 3 آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 3- پارامترهای هیدرولیکی خاک (ضرایب معادله وان‌گنوختن-معلم) در اعماق مختلف

Table 3- Soil hydraulic parameters (coefficients of van Genuchten-Mualem equation) at different depths

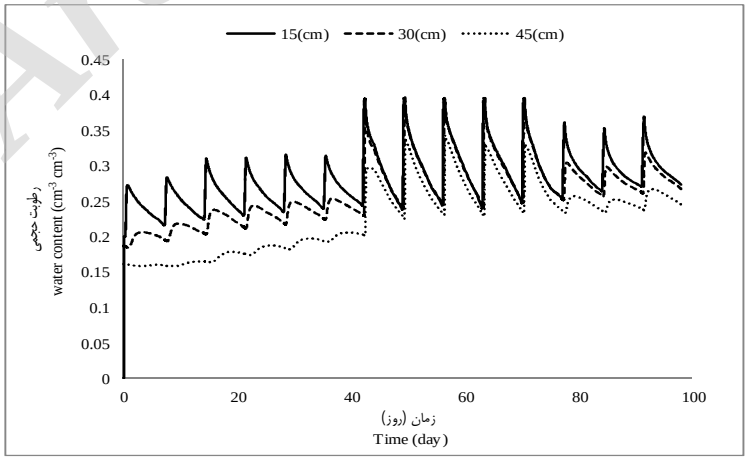
عمق Depth (cm)	θ_r (-)	θ_s (-)	α (cm^{-1})	m (-)	n (-)	K_s ($cm\ day^{-1}$)	I (-)
0-20	0.049	0.394	0.0101	0.275	1.38	11.83	0.5
20-40	0.046	0.399	0.0131	0.270	1.37	19.54	0.5
40-60	0.037	0.388	0.0183	0.259	1.35	33.09	0.5

پارامترهای مربوط به انتقال نیترات

نیترات به دلیل داشتن بار منفی به ندرت جذب ذرات خاک می‌شوند و بیشتر از طریق حرکت توده‌ایی آب در داخل خاک جابجا می‌شود (2 و 17). در این تحقیق جذب نیترات توسط گیاه به صورت فعال و غیر فعال توسط مدل در نظر گرفته شد. حداکثر غلظت نیترات در ترم جذب (cRoot) بین 0/15 تا 0/55 میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب در طول دوره رشد گیاه متغیر است (4). در این تحقیق (cRoot) برابر 0/35 میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد. پتانسیل مصرف نیترات توسط ذرت با در نظر گرفتن دوره‌های مختلف رشد گیاه با توجه به باریوسف (3) به عنوان داده ورودی به مدل وارد شد. تعیین اختلاف بین مقدار معدنی شدن نیتروژن و نیتروژن‌زدایی پیچیده است (3، 19). برای پرهیز از این پیچیدگی‌ها که میزان همبستگی و ارتباط بین آنها باید تعیین شود و همچنین با توجه به اینکه خاک منطقه دارای زهکشی خوب، مقدار اکسیژن بالا، مواد آلی و جمعیت باکتری‌های کم است، فرض شد که مقدار نیترات‌زدایی (دنیتریفیکاسیون) و معدنی شدن قابل صرف نظر کردن است (4).

مشابه تحقیق ونگ و همکاران (22) و تافته و سپاس‌خواه (19)، در این تحقیق فرض شد نیتروژن موجود در خاک معدنی شده و مستقیماً به نیترات تبدیل می‌شود. بعلاوه با توجه به شرایط هوازی حاکم در هنگام انجام آزمایش و گرم بودن هوا شرایط لازم برای عمل نیترات‌زایی (نیتریفیکاسیون) وجود داشت. بنابراین فرض شد که آمونیوم در اثر پدیده نیترات‌زایی به نیترات تبدیل می‌شود. از آنجایی که نیترات و ذرات خاک دارای بار منفی هستند، مقدار ضریب جذب (K_d) برابر صفر در نظر گرفته شد. ضریب انتشارپذیری طولی (D_L) با توجه به آزمایشات انجام شده در منطقه برابر 4/16 سانتی‌متر در نظر گرفته شد (4). مقدار پخشیدگی مولکولی نیترات (D_w) برابر 1/64 سانتی‌متر مربع بر روز است (8).

خروجی‌های مورد استفاده از این مدل، تغییرات رطوبت و نیترات خاک در طول دوره رشد گیاه، جذب آب و نیتروژن-نیتراتی ($N\text{-}NO_3$) توسط گیاه و همچنین نفوذ عمقی آب آبیاری و آبشویی نیترات در شرایط کاربرد پساب‌های خام و تصفیه شده بود. صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل HYDRUS-1D در شبیه‌سازی انتقال نیترات در داخل خاک در مزرعه مورد مطالعه در سال 1392 انجام شد (4). در این تحقیق، پارامترهای واسنجی شده‌ی مربوط به ویژگی‌های هیدرولیکی و انتقال املاح خاک مزرعه به عنوان مقادیر ورودی به مدل مورد استفاده قرار گرفتند. در حقیقت، از مدل واسنجی شده HYDRUS برای این مزرعه به منظور شبیه‌سازی انتقال نیترات در نظر گرفته شد.

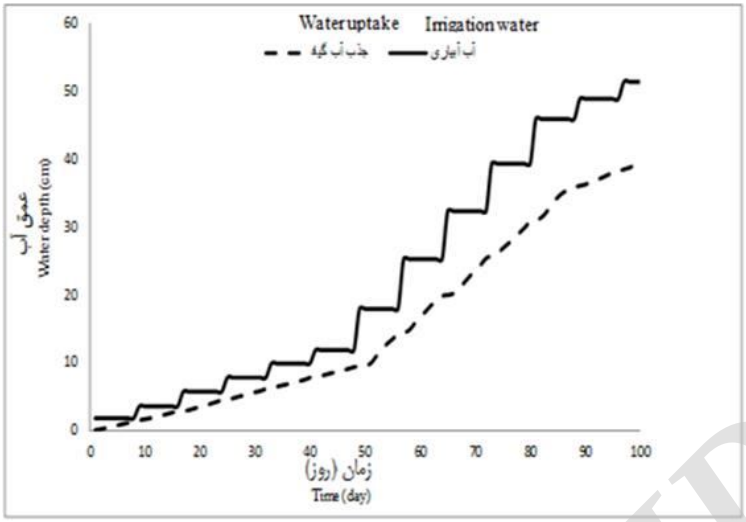


شکل 2- مقادیر شبیه‌سازی شده رطوبت حجمی در عمق‌های 15، 30 ، 45 سانتی متری در طول دوره رشد گیاه

Figure 2- Simulated water contents at depths of 15, 30 and 45 cm during the crop growing season

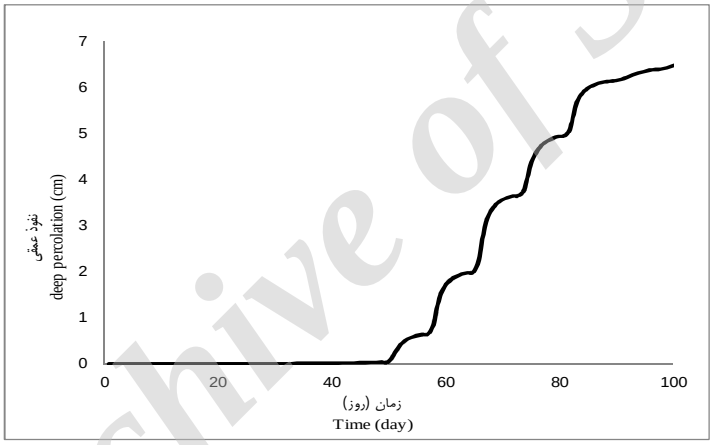
Archive of SID

www.SID.ir



شکل 4- مقدار آب ورودی و آب جذب شده توسط گیاه در طول فصل رشد

Figure 4- Input water and crop water uptake during the crop growing season



شکل 3- مقادیر شبیه‌سازی شده نفوذ عمقی تجمعی زیر عمق 60 سانتی‌متر در طول دوره رشد گیاه

Figure 3-Simulated cumulative deep percolation below 60 cm depth during the crop growing season

نتایج و بحث

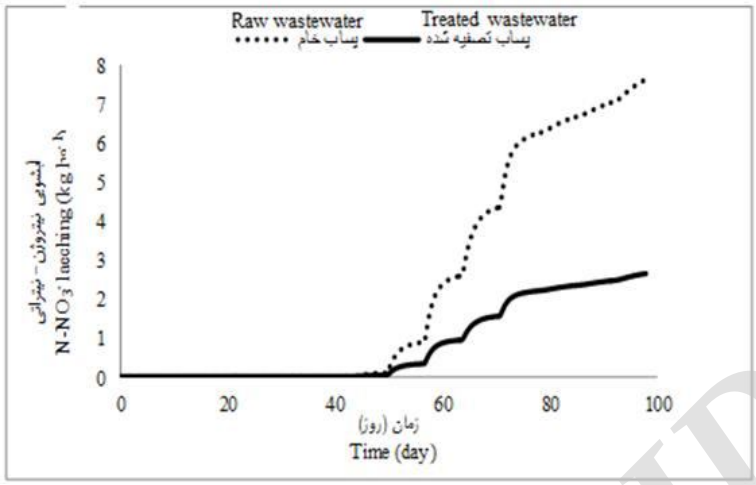
نتایج شبیه‌سازی پیشروی جبهه رطوبتی، نفوذ عمقی آب آبیاری، جذب نیتروژن توسط گیاه و آبشویی نیترات توسط مدل HYDRUS در شکل‌های 2 تا 7 آمده است. شکل 2 نشان دهنده تغییرات رطوبت حجمی در طول فصل رشد گیاه در سه عمق 15، 30 و 45 سانتی‌متری پروفیل خاک می‌باشد. رطوبت بعد از هر آبیاری افزایش یافت و تا زمانی که آبیاری بعد انجام شود، مقدار آن به تدریج کاهش یافت. با توجه به شکل 2، تغییرات رطوبت با افزایش عمق، کاهش یافت که این به دلیل مقدار رطوبت بیشتر و در نتیجه تبخیر بیشتری است که در لایه‌های سطحی وجود دارد (12). مقادیر تجمعی نفوذ عمقی آب آبیاری در روزهای مختلف بعد از کاشت گیاه ذرت در شکل 3 آورده شده است. مقدار نفوذ عمقی تجمعی حدوداً 43 روز پس از کاشت گیاه به سرعت افزایش پیدا کرد. این افزایش در مقدار نفوذ عمقی به دلیل عمق آبیاری بیشتری است که به دلیل افزایش رشد گیاه در اثر افزایش درجه حرارت بکار رفت. تافته و سپاس‌خواه (19) افزایش سریع در نفوذ عمقی را برای گیاه کلزا 190 روز پس از کاشت به دلیل افزایش مقدار آب آبیاری گزارش کردند. مقدار نفوذ عمقی در پایان 98 روز به 6/98 سانتی‌متر می‌رسد. در 43 روز اول شبیه‌سازی، مقدار رطوبت در لایه 60 سانتی‌متری خاک ذخیره شده و نفوذ عمقی بسیار ناچیز بوده و کمتر از 1 میلی‌متر بود.

با توجه به شکل 4، 80 درصد از آب آبیاری توسط گیاه جذب شد و حدودا 13 درصد نفوذ عمقی وجود داشت (شکل 3) و در نتیجه 7

Archive of SID

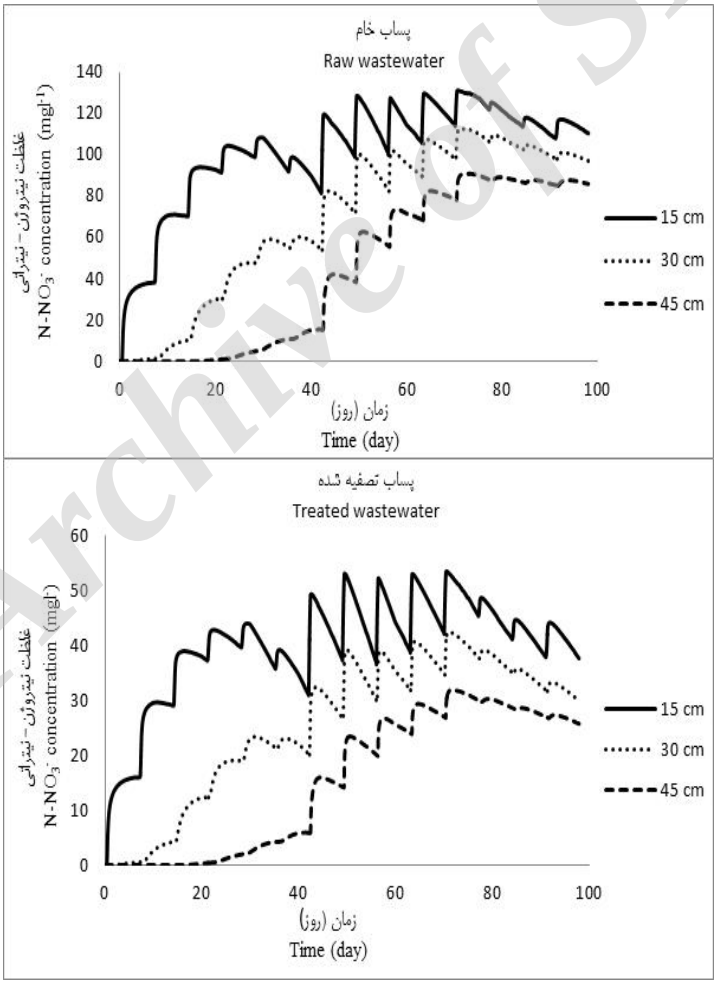
www.SID.ir

درصد از آب آبیاری در پایان دوره رشد گیاه در داخل منطقه ریشه ذخیره شد. همان طور که در شکل 5 مشاهده می‌شود با افزایش آب آبیاری، مقدار آبشویی نیتروژن-نیتراتی نیز افزایش یافت.



شکل 5- مقادیر شبیه‌سازی شده آبشویی نیتروژن- نیتراتی در شرایط کاربرد پساب خام و تصفیه شده

Figure 5- Simulated values of $N\text{-}NO_3^-$ leaching under raw and treated wastewater application

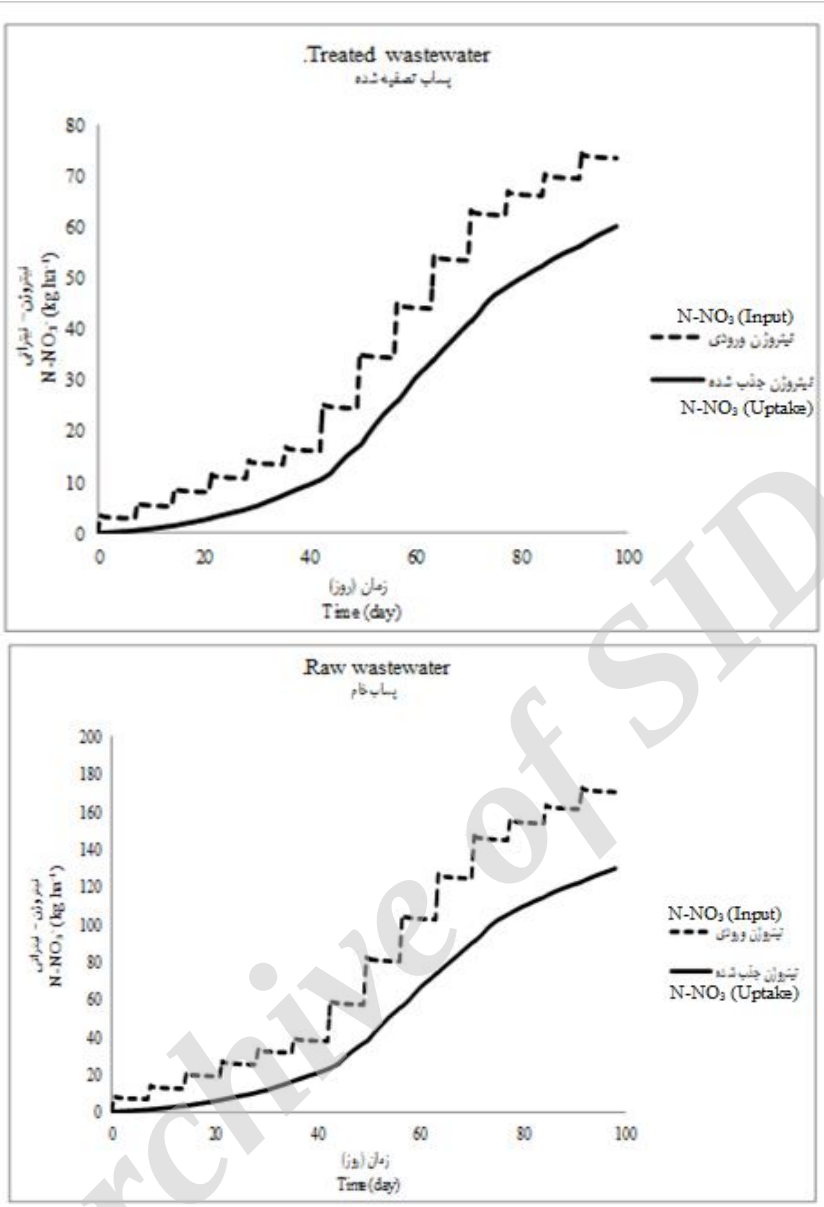


شکل 6- غلظت شبیه‌سازی شده نیتروژن نیتراتی در خاک در طول دوره رشد گیاه در عمق 15، 30 و 45 سانتی متر برای پساب تصفیه شده و خام

Figure 6- Simulated nitrate-nitrogen ($N\text{-}NO_3$) concentrations at 15, 30 and 45 cm depth for treated and raw wastewater during the crop growing season

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 7- مقدار نیتروژن- نیتراتی ورودی به خاک و جذب شده توسط گیاه در پساب خام و تصفیه شده

Figure 7- Input nitrate-nitrogen ($N\text{-}NO_3$) into the soil and crop uptake values for treated and raw wastewater

یانگ لی و همکاران (8) نیز روند آبشویی نیتروژن-نیتراتی را مشابه آب نفوذ یافته گزارش کردند. بنابراین مدیریت مزرعه و تعیین مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه می‌تواند از تلفات نفوذ عمقی آب آبیاری، آبشویی کود و مشکلات زیست محیطی ناشی از آبشویی نیترات در مناطقی که دارای آب زیر زمینی کم عمق هستند، جلوگیری کند. مقدار نیتروژن-نیتراتی تجمع یافته در زیر عمق توسعه ریشه در پایان دوره رشد گیاه برای پساب خام و تصفیه شده به ترتیب برابر 7/61 و 2/64 کیلوگرم در هکتار برآورد شد. شکل 6 مقدار غلظت نیترات در سه عمق از خاک در طول دوره رشد گیاه را نشان می‌دهد. با افزایش عمق به دلیل جذب املاح توسط گیاه از مقدار غلظت نیترات کاسته می‌شود. شکل 7 میزان جذب نیتروژن-نیتراتی توسط گیاه در نتیجه کاربرد پساب خام و تصفیه شده را نشان می‌دهد. روند جذب در مراحل اولیه رشد گیاه به آهستگی انجام شده و با افزایش در رشد گیاه، مقدار جذب نیتروژن- نیتراتی نیز افزایش یافته، سپس در مراحل پایانی رشد گیاه کاهش می‌یابد. مقدار نیتروژن-نیتراتی جذب شده توسط گیاه در انتهای فصل در پساب خام و تصفیه شده به ترتیب برابر 130 و 60 کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با توجه به اینکه مقدار نیتروژن مورد نیاز ذرت در طول فصل رشد حدود

Archive of SID

www.SID.ir

200 کیلوگرم در هکتار است (9)، با آبیاری با پساب خام تا حد زیادی می‌توان این نیاز را تامین کرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که گیاه حدود 76/2 و 81/9 درصد از نیتروژن-نیتراتی وارد شده به خاک از طریق پساب خام و تصفیه شده را جذب کرد. حدود 19/4 و 14/5 درصد از نیتروژنی که از طریق آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده وارد خاک شد، در انتهای فصل رشد در خاک ذخیره شد. فوگت و همکاران (10) گزارش کردند که 7/7 درصد از نیتروژن– نیتراتی ورودی به خاک از طریق کود آبیاری در انتهای فصل رشد گیاه در خاک ذخیره می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، مدل HYDRUS-1D برای شبیه‌سازی جریان آب و انتقال نیترات برای یک دوره رشد گیاه ذرت در شرایط کاربرد پساب‌های خام و تصفیه شده استفاده شد. نتایج حاصل از این مدل نشان داد، که به دلیل نفوذ عمقی اندک آب که حدود 13 درصد آب آبیاری را تشکیل می‌دهد، مقدار آبشویی نیترات نیز بسیار ناچیز بود و دلیل آن، می‌تواند به علت ویژگی نیترات در عدم جذب توسط ذرات خاک و در ارتباط بودن با نفوذ عمقی آب آبیاری باشد. با توجه به اینکه با افزایش عمق به دلیل جذب املاح توسط گیاه از مقدار غلظت نیترات کاسته می‌شود، می‌توان از آبیاری با پساب به عنوان یک فرصت برای مقابله با خشکسالی و کمبود منابع آب استفاده کرد. مقدار نیتروژن- نیترات جذب شده توسط گیاه در انتهای فصل در پساب خام و تصفیه شده به ترتیب برابر 130 و 60 کیلوگرم در هکتار بود. بنابراین می‌توان از پساب‌ها به عنوان منبع غذایی برای گیاه استفاده کرده و مصرف کودهای شیمیایی و بالتبع آن اثرات زیست‌محیطی استفاده از آنها را کاهش داد. لذا مدل HYDRUS ابزار بسیار مفیدی برای توصیف و ارزیابی انتقال آلاینده‌های پساب می‌باشد، در حالی‌که انجام عملی آنها دشوار بوده و یا از نظر اقتصادی به صرفه نمی‌باشد.

منابع

1. Alizadeh A., Haghnia Gh. H. and Naghibi A. 1997. The use of treated domestic wastewater in irrigation. p. 322-353. Proceedings of the Second National Congress of Soil and Water Issues, first volume. Department of Agriculture, the research, education and agricultural extension organization, 27-30 February 1997, Tehran. (in Persian).
2. Barber S.A. 1995. Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. John Wiley & Sons, New York.
3. Bar-Yosef B. 1999. Advances in fertigation. Advances in Agronomy, 65:1-75.
4. Ebrahimian H., Liaghat A., Parsinejad 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
5. FAO. 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, No. 47.
6. Feddes R.A., Kowalik P. J. and Zaradny H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. John Wiley & Sons, New York.
7. Hassanoghli A.R., Mirabzade M. and Liaghat A. 2003. Use of domestic wastewater and sewage effluent in irrigation of agricultural crops and recharge of aquifers. PHD. Thesis, Tehran University. (in Persian with English abstract).
8. Li Y., Simunek J., Zhang Z., Jing L. and Lixiao N. 2015. Evaluation of nitrogen balance in a direct-seeded-rice field experiment using Hydrus-1D. Agricultural Water Management, 148:213-222.
9. Malakouti J., and Gheibi M.N. 2001. Determination of critical levels of nutrients in the soil, plants and fruit in order to increase yield and quality of strategic products. Publication of agricultural education, Iran. (in Persian).
10. Phogat V., Skewes M.A., Coxa J.W., Alamc J., Grigsona G. and Simunek J. 2013. Evaluation of water movement and nitrate dynamics in a lysimeter planted with an orange tree. Agricultural Water Management, 127:74-84.
11. Pouryazdankhah H. and Khaledian M.R. 2013. Improving Model Efficiency of HYDRUS-2D by Considering Temporal Variability in Soil Hydraulic Properties. Journal of Water and Soil, 26(6):1440-1449. (in Persian with English abstract).
12. Ramos T.B., Simunek J., Goncalves M.C., Martins J.C., Prazeres A., Castanheira N.L. and Pereira L.S. 2011. Field evaluation of a multicomponent solute transport model in soils irrigated with saline waters. Journal of Hydrology, 407:129-144.
13. Ramos T.B., Simunek J., Goncalves M.C., Martins J.C., Prazeres A. and Pereira L.S. 2012. Two-dimensional modelling of water and nitrogen fate from sweet sorghum irrigated with fresh and blended saline waters. Agricultural Water Management, 111:87–104.
14. Shekofteh H., Afyuni M., Hajabbasi M.A., Iversen B. V., Nezamabadi-Pour H., Abassi F. and Shirani H. 2013. Modeling of Nitrate Leaching from a Potato Field using HYDRUS-2D. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 44(20):2917-293.

Archive of SID

www.SID.ir

15. Simunek J., Sejna M. and van Genuchten M.T. 1998. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated, media, Version 2.0, IGWMC-TPS-70, Int. Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Co.
16. Simunek J., van Genuchten M. and Sejna M. 2005. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 3.0, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, CA.
17. Simunek J. and Hopmans J.W. 2009. Modeling compensated root water and nutrient uptake. Ecological Modelling, 220:505-521.
18. Smith M. 1992. CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage. Paper 46. FAO, Rome.
19. Tafteh A. and 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.
20. Van Genuchten M.T. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil science society of America journal, 44(5):892-898.
21. Vazquez-Montiel O., Horan N. and Mara D. 1996. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. Water Science and Technology. 33(10-11): 355-362.
22. Wang H., Ju X., Wei Y., Li B., Zhao L. and Hu K. 2010. Simulation of bromide and nitrate leaching under heavy rainfall and high-intensity irrigation rates in North China Plain. Agricultural Water Management, 97:1646-1654.
23. Wesseling J. G. 1991. Meerjarige simulaties van grondwateronttrekking voo verschillende boden profielen, grondtrappen en gewassen met het model SWATRE (in Dutch). Report 152. Winand Staring Centre, Wageningen.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2017, p. 785-796

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 3، مرداد – شهریور 1396، ص. 796-785

Evaluation of Nitrate Leaching and Nitrogen Uptake by Maize Under Irrigation with Raw and Treated Wastewater

M. Amini[1]- H. Ebrahimian[2]*

Received: 27-01-2016
Accepted: 07-12-2016

Introduction: Water scarcity is an important challenge worldwide, especially in arid and semi-arid regions. Water-scarce countries will have to rely more on the use of non-conventional water resources to partly alleviate water scarcity. The reuse of wastewater for irrigation is considered to be beneficial for crop production, and due to its nitrogen and phosphorus content, it can help to reduce the requirements for commercial fertilizers. However, under certain conditions, this type of water if not well managed, can have negative impacts on cultivated crops and soils, particularly on soil salinity and sodicity, and may pollute groundwater, as a result of high nitrogen concentration of most treated wastewater. Besides nitrogen (N) contamination of surface and ground waters has become a serious and global environmental problem. The risk of groundwater contamination by N depends largely on the N input to agricultural fields in the form of inorganic fertilizers and on its effective use of agricultural crops. Improvement of irrigation and nitrogen application management during the growing period can be achieved using mathematical models. The goal of this study was to assess the effects of irrigation with raw and treated wastewater by using the HYDRUS-1D model for simulation of water and nitrate transport in a maize field.

Materials and Methods: The experimental station of the College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, was considered as a case study. The information of maize growing season in 2010, as well as raw and treated wastewater of *Ekbatan* housing complex was considered as a source of irrigation water for simulation of water and nutrient movements in the soil by HYDRUS-1D software package. HYDRUS-1D numerically solved the Richards equation for describing the variably-saturated water flow in a radially symmetric domain and the convection-dispersion equation for solute transport. The soil hydraulic properties were described using the *van Genuchten-Mualem* model. Since the direct measurement of soil hydraulic parameters in the field or laboratory is time consuming and costly, they were estimated using the ROSETTA model, using particle size and bulk density data determined on soil samples taken from depths of 0-20, 20-40, 40-60 cm.

Results and Discussion: The results showed that water contents increased after any irrigation event, and then decreased gradually during the following hours and days, until the next irrigation took place. Deeper depths showed smaller water content variations since root water uptake and soil evaporation were more pronounced at shallower depths. Simulated plant water uptake was estimated to be 80% of the water application, indicating the high irrigation efficiency of the system. Cumulative deep percolation (DP) values increased rapidly at around 43 days after planting. This is obtained due to higher irrigation water depth applied at irrigation events after this time because of rapid growth of maize crop that is occurring due to increase air temperature at this time. Simulated deep percolation reached 6.98 cm which is 13% of the total amount of water applied during the growing season. Simulation results showed that N leaching at 60 cm depth for about 7.61 and 2.64 kg N ha^{-1} for raw and treated wastewater, respectively. Nitrogen concentration for raw and treated wastewater decreased due to root nutrient uptake. The results also showed that the crop N uptake was 76.2% and 81.9% of total N input (TNI) during the growing season, while 19.4% and 14.5% of TNI was retained in the soil at the end of the season for raw and treated wastewater, respectively.

Conclusion: The HYDRUS-1D model was used to simulate the transport of $N\text{-}NO_3^-$ under the raw and treated wastewater application in the soil. Simulation results provided detailed moisture and N regime, as well as bottom boundary flux for percolation and N leaching estimation. N leaching is closely correlated with vertical water flow. The N leaching distributions at the bottom of the soil profile (60 cm) are similar to the corresponding water flux distributions. The results also showed that the crop N uptake was 130 and 60 kg N ha^{-1} during the

1, 2- Gradute Student and Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Respectively
(*-Corresponding Author Email: ebrahimian@ut.ac.ir)

Archive of SID

www.SID.ir

growing season for raw and treated wastewater, respectively. As the results showed wastewater can use as a source of N for crops and it can help to reduce the requirements for commercial fertilizers, and decrease their negative environmental impacts. It is suggested that the model parameters can be measured practically, in order to be used for model calibration and validation. Besides, the simulation can be done for a longer period of time to evaluate the effect of rainfall and different cultivations on solute transport.

Keywords: Deep percolation, HYDRUS, Nitrate-nitrogen, Non-conventional water, Wastewater

Archive of SID

www.SID.ir