نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 6، جلد 10، بهمن - اسفند 1395، ص. 731-723

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 10, Jan.-Feb. 2017, p. 723-731

شبیه‌سازی چرخه نیتروژن در مدیریت‌های مختلف مدت زمان اعمال کود اراضی شالیزاری با استفاده از HYDRUS-1D

مریم نوابیان*[1]، نرگس جلیل‌نژاد ماسوله[2]، مهدی اسمعیلی ورکی[3]، محمدحسن بیگلویی[4]

تاریخ دریافت: 1393/11/29 تاریخ پذیرش: 1395/8/18

چکیده

کودهای نیتروژن مورد استفاده در کشاورزی یکی از عوامل مهم آلایندگی محیط زیست و منابع آب محسوب می‌شوند که استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز جهت شناخت چرخه حاکم بر آن‌ها می‌تواند نقش بسزایی در کنترل و کاهش آلایندگی محیط زیست داشته باشد. در اراضی شالیزاری به دلیل شیوه مدیریت آبیاری و ایجاد شرایط غرقابی، چرخه نیتروژن از پیچیدگی زیادی برخوردار است. در این پژوهش برای بررسی چرخه نیتروژن در شرایط مختلف مدیریت اعمال کود شامل 24، 48 و 72 ساعت زمان ماند کود در کرت و سپس رهاسازی آن از انتهای کرت از مدل HYDRUS-1D استفاده شد. برای شبیه‌سازی چرخه نیتروژن در کرت‌های اراضی شالیزاری از میکرولایسیمتر استفاده شد. بافت خاک مورد آزمایش لوم‌رسی‌سیلتی بود و پس از اعمال کود اوره و تیمارهای زمان ماند کود در کرت، مقادیر غلظت آمونیوم، نیترات و نیتریت به مدت 4 ماه (خرداد الی شهریور) در دو عمق 15 و 30 سانتی‌متری اندازه‌گیری شدند. ضرایب تبدیل آمونیوم به نیتریت، نیتراتزایی و نیتراتزدایی در عمق 15 سانتی‌متری بیش‌تر از عمق 30 سانتی‌متری به دست آمد. مدل توانست آمونیوم و نیترات را با دقت بیش‌تری نسبت به نیتریت شبیه‌سازی نماید به طوری که ضریب همبستگی مربوط به شبیه‌سازی آن‌ها به ترتیب 0/79، 0/70 و 0/60 به دست آمد. در عمق 30 سانتی‌متری ضرایب تبدیل آمونیوم به نیتریت و نیتراتزدایی از تیمار مدیریت کود تاثیر نپذیرفت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری غرقاب، آمونیوم، کود اوره، نیترات، نیتریت

مقدمه

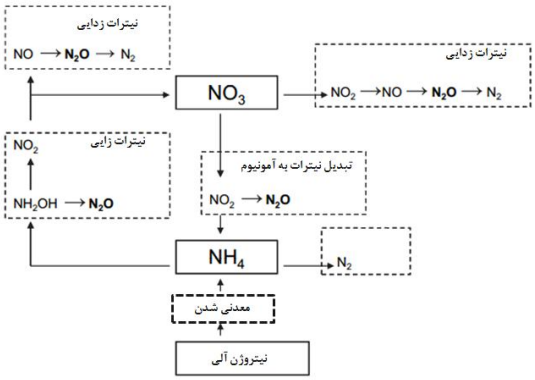
افزایش جمعیت و افزایش تقاضای سرانه برای محصولات کشاورزی به خصوص برنج و عدم امکان افزایش قابل توجه سطح زیرکشت برنج، استفاده از کودهای شیمیایی را جهت ترمیم توان ذاتی خاک برای تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ضروری می‌سازد (Jing et al., 2007). کودهای شیمیایی از جمله منابعی هستند که به سرعت می‌توانند عناصر غذایی را در اختیار گیاه قرار دهند ولی مصرف زیاد و مداوم آن‌ها خطرات زیست‌محیطی و آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی را به دنبال دارد (Heatwole and McCray., 2006). نیتروژن از عناصر مورد نیاز برنج و به عنوان یکی از عوامل مهم افزایش میزان محصول به شمار می‌رود (Teixeira et al., 2011).

کود نیتروژن در خاک به شکل‌های مختلفی می‌تواند تبدیل شود که این مسئله تحت تاثیر بافت و ساختمان خاک، میزان ماده آلی، اسیدیته خاک، غلظت و نوع نیتروژن، شوری خاک و اقلیم منطقه است. از این رو سرنوشت نیتروژن موجود در خاک و نیتروژن رها شده در محیط زیست که منجر به ایجاد آلودگی می‌شود به چرخه نیتروژن در خاک و در نتیجه به عوامل محیطی ذکر شده بستگی دارد. شیوه و مدیریت آبیاری و زهکشی و هم‌چنین مدیریت کود نیتروژن شامل نوع، زمان، مقدار و نحوه‌ی اعمال کود که از عوامل موثر بر چرخه نیتروژن هستند نیز برکاهش آلودگی ناشی از اراضی کشاورزی به خصوص اراضی شالیزاری موثر هستند (Xu et al., 2012).

فرآیند چرخه نیتروژن در اراضی شالیزاری غرقاب شامل هیدرولیز کود اوره، نیتراتزایی، نیتراتزدایی، آبشویی، جذب توسط گیاه و تصعید می‌باشد. شکل 1 فرآیندهای چرخه نیتروژن در اراضی شالیزاری را نشان می‌دهد. کود اوره پس از تجزیه به آمونیاک، آمونیوم، نیتریت و نیترات تبدیل می‌شود. تبدیل آمونیوم به آمونیاک به میزان اسیدیته، وزش باد، دما و مقدار کود کاربردی بستگی دارد. هم‌چنین به طور میانگین مقدار هدر رفت آمونیاک از طریق تصعید 20 تا 50 درصد کود کاربردی می‌باشد (Mikkelsen et al., 1978).

1و3- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و عضو وابسته پژوهشی گروه آب و محیط زیست پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر
2 - دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
4- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
(*- نویسنده مسئول: (Email: Navabian@guilan.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir



شکل 1- فرآیندهای چرخه نیتروژن در اراضی شالیزاری

از دست رفتن نیتروژن از طریق فرآیند نیترات‌زدایی خاک، در خاک‌های فاقد زهکشی مناسب، 68 درصد تخمین زده می‌شود. هم‌چنین نیترات‌زدایی در اسیدیته 4/7 سریع‌تر به وقوع می‌پیوندد در حالی که نیترات‌زایی در اسیدیته کم‌تر از 6 کاهش می‌یابد. مقدار نیتروژن از دست رفته از طریق نیترات‌زدایی در اراضی شالیزاری هند 20 تا 40 درصد (Abichandani., 1955) و در ژاپن 30 تا 50 درصد تخمین زده شده است (Mitsui., 1954).

نیتریت و نیترات به دلیل دارا بودن بار منفی جذب رس‌های خاک نمی‌شود و شسته شده و به اعماق خاک و در نهایت به سفره آب‌های زیرزمینی وارد می‌شود. میزان آبشویی همچون تصعید به مقدار کاربرد کود به‌علاوه سرعت نفوذ آب در خاک بستگی دارد به طوری‌که در خاک‌های با سرعت نفوذ 4/4 میلی‌متر در روز میزان تلفات آبشویی 10 درصد کاربرد کود نیتروژن و در خاک‌های با سرعت نفوذ 18/3 میلی‌متر بر روز 88 درصد گزارش شده است (Mitsui., 1954).

انتخاب مدیریت بهینه و هم‌زمان آب و کود علاوه بر شناخت عوامل موثر بر چرخه نیتروژن مستلزم تعیین میزان تاثیرگذاری هر یک از گزینه‌های مدیریتی است که به دلیل محدودیت‌های آزمایش‌های صحرایی، مدل‌های شبیه‌سازی یک ابزار مفید در این زمینه محسوب می‌شوند. مدل HYDRUS یکی از مدل‌های پیشرفته برای شبیه‌سازی حرکت آب، املاح و گرما در داخل خاک می‌باشد (Simunek., 1998). مدل حرکت آب و انتقال املاح و گرما در خاک را به ترتیب با استفاده از معادلات ریچاردز و انتقال-انتشار شبیه‌سازی می‌کند. همچنین مدل فرآیندهای جذب سطحی، جذب توسط گیاه، تخریب، تصعید و تبدیل‌های بیولوژیکی مرتبه صفر و یک را شبیه‌سازی می‌نماید. با توجه به فرآیندهای ذکر شده از مدل HYDRUSمی‌توان در شبیه‌سازی چرخه نیتروژن در اراضی شالیزاری بهره برد.

در پژوهشی به‌منظور پیش‌بینی انتقال عمودی نیترات در اراضی شالیزاری با بافت خاک متوسط تایلند از مدل HYDRUS-1D استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد مدل با دقت مناسبی می‌تواند جهت شبیه‌سازی جریان آب و انتقال آلودگی در شرایط مختلف اشباع خاک در هر دو حالت شبیه‌سازی مستقیم و معکوس بکار گرفته شود. نتایج حاکی از آن بود که خصوصیات خاک در شرایط غیراشباع تاثیر مهمی در پتانسیل حرکت نیترات از لایه‌های سطحی به لایه‌های زیرسطحی خاک دارند (Chotpantarat et al., 2011).

ونژی و همکاران (Wen-zhi et al., 2013) از مدل HYDRUS-1D برای شبیه‌سازی حرکت املاح و نیتروژن با مدیریت‌های مختلف کود و آبیاری در چین انجام دادند. نتایج این پژوهش موید آن بود که غلظت آمونیوم با افزایش عمق و افزایش شدت آبیاری کاهش پیدا کرد. هم‌چنین غلظت آمونیوم و نیترات با افزایش مقدار اولیه کود اوره افزایش یافت. 48 ساعت بعد از آبیاری مقدار آمونیوم به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت به‌طوری‌که مقدار آن 85/02 درصد نیتروژن رسید که نشان داد اوره به سرعت در خاک تجزیه می‌شود. غلظت نیترات با افزایش عمق افزایش یافت در صورتی‌که مقدار آن با افزایش شدت آبیاری کاهش یافت.

سویت و همکاران از میکرولایسیمتر و ردیاب برماید برای شبیه‌سازی انتقال املاح در اراضی شالیزاری استفاده کردند. پارامترهایی موثر بر نفوذ نظیر اندازه خاکدانه‌ها و مشخصات فیزیکی لایه غیرقابل نفوذ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که میکرولایسمترها ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی انتقال املاح در اراضی شالیزاری هستند (Thuyet et al., 2010).

والاچ و همکاران نشان دادند انتقال املاح در خاک به فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک، ویژگی‌های هیدرولوژیکی، وضعیت سطح خاک و عملیات آبیاری بستگی دارد (Wallach et al., 1991).

تافته و همکاران از مدل HYDRUS–1D برای شبیه‌سازی

Archive of SID

www.SID.ir

حرکت آب و آبشویی نیترات در نیم‌رخ خاک تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای در سطوح مختلف کود نیتروژن استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل توانایی قابل ملاحظه‌ای برای شبیه‌سازی نفوذ آب (میانگین خطای نسبی استاندارد 0/11 و 0/094 به ترتیب برای گیاه دانه‌دار روغنی و ذرت) و آبشویی نیترات (میانگین خطای نسبی استاندارد 0/14 و 0/18 به ترتیب برای گیاه دانه‌دار روغنی و ذرت) را دارد (Tafthe, 2012).

شیرانی و همکاران (1390) حرکت برماید را در ستون‌های دست‌خورده خاک با استفاده از مدل HYDRUD-1D در دو بافت شن لومی و لوم شنی بررسی کردند. آنالیز حساسیت مدل نشان داد، کم‌ترین تاثیر مربوط به ضریب پخشیدگی آب بود که افزایش میزان آن، حداقل تاثیر را بر ضریب پیش‌بینی شده زه‌آب خروجی خاک‌های مورد مطالعه داشت.

با توجه به تاثیر مدیریت کود در کاهش انتقال نیتروژن از اراضی شالیزاری و نقش مدل در شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف مدیریت کود، هدف از این پژوهش ارزیابی مدل HYDRUS-1D در شبیه‌سازی چرخه نیتروژن تحت مدیریت‌های مختلف کود است.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی چرخه نیتروژن در مقیاس میکرولایسیمتر

به منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی چرخه نیتروژن و ارزیابی مدل HYDUS-1D، آزمایش به‌صورت بلوک کامل تصادفی در سال 1392-1391 در سه تکرار تحت سه تیمار مدیریت کود شامل 24 (I5R24)، 48 (I5R24) و 72 (I5R24) ساعت زمان ماند کود در میکرولایسیمتر انجام شد. ابعاد میکرولایسیمتر به قطر 25 سانتی‌متر و ارتفاع 60 سانتی‌متر به‌منظور لحاظ نمودن عمق توسعه ریشه برنج و مدیریت آبیاری غرقاب انتخاب گردید. برای شبیه‌سازی شرایط مزرعه در میکرولایسیمترها، خاک اراضی شالیزاری موجود در محوطه دانشگاه گیلان جمع آوری و در هوای آزاد خشک گردید. نمونه خاک پس از کوبیده شدن، از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد و سپس با رعایت جرم مخصوص ظاهری خاک در مزرعه در میکرولایسیمترها متراکم شدند. ارتفاع ستون‌های خاک در میکرولایسیمترها 40 سانتی‌متر بود و در کف میکرولایسیمترها 5 سانتی‌متر فیلتر شنی برای جلوگیری از خروج خاک از شیر انتهایی میکرولایسیمترها لحاظ شد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش شامل درصد کربن آلی به روش والکی-بلاک، درصد رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر، درصد رطوبت اشباع به روش وزنی، نیترات و نیتریت با دستگاه اسپکتروفتومتری و آمونیوم به روش تیتراسیون اندازه‌گیری گردید. جدول 1 مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش را نشان می‌دهد. همچنین برخی مشخصات آب آبیاری در جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 1- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

بافت خاک	رس (%)	شن (%)	سیلت (%)	رطوبت اشباع (%)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)
لوم رس سیلتی	28/49	7/71	63/8	68/83	1/41
اسیدیته	هدایت الکتریکی (µmho/cm)	نیترات (mg/l)	نیتریت (mg/l)	آمونیوم (mg/l)	کربن آلی (%)
6/84	1990	23	35	18	1/27

جدول 2- مشخصات شیمیایی آب آبیاری

اسیدیته	هدایت الکتریکی (µmho/cm)	نیترات (mg/l)	نیتریت (mg/l)	آمونیوم (mg/l)
7/01	625	5/14	0/07	3/14

برای ایجاد شرایط اعمال مدیریت آبیاری غرقاب با ارتفاع یکسان آب در تمام میکرولایسیمترها، جایگاه میکرولایسیمتر و سطح خاک داخل آن‌ها با استفاده از دوربین نقشه‌برداری تراز شد. پس از استقرار میکرولایسیمترها، خاک به صورت تدریجی و از سمت پایین اشباع شد.

برای تامین نیتروژن مورد نیاز از کود اوره (90 کیلوگرم بر هکتار از روی توصیه کود براساس آزمون خاک برنج) استفاده گردید. این مقدار کود اوره در 1000 سانتی‌مترمکعب آب حل و در تیمارها به‌کار گرفته شد. پس از اعمال تیمار مدیریت کود شامل 24، 48 و 72 ساعت نگهداشت کود بر روی سطح خاک و تخلیه مازاد آن بعد از گذشت مدت زمان ماند کود (مطابق عرف منطقه که در زمان اعمال کود انتهای کرت‌ها بسته است)، آبیاری به شیوه غرقاب با ارتفاع 5

Archive of SID

www.SID.ir

سانتی‌متر روی سطح خاک اعمال گردید. برای استقرار عمق ثابت 5 سانتی‌متری آب بر روی تیمارهای غرقاب از شناور که به مخزن آب متصل بود، استفاده شد.

با توجه به درصد خلوص کود (46 درصد) و سطح مقطع میکرولایسیمتر، کود نیتروژن با غلظت 0/63 میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب روی خاک اشباع اعمال شد.

از آنجاکه دمای خاک و میزان اکسیژن موجود در خاک بر مولفه‌های چرخه نیتروژن تاثیرگذار است، از دو عمق 15 و 30 سانتی‌متری خاک با استفاده از دستگاه عصاره‌گیر خاک، نمونه‌برداری شد و به سرعت به آزمایشگاه منتقل شد. مقادیر نیترات و نیتریت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و آمونیوم به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (Eaton et al., 1995).

شبیه‌سازی چرخه نیتروژن در مدل HYDRUS

شبیه‌سازی چرخه نیتروژن در مدل HYDRUS با فعال‌سازی گزینه‌های شبیه‌سازی حرکت آب، انتقال املاح و حل معکوس انجام شد. به‌منظور ارزیابی دقت شبیه‌سازی چرخه نیتروژن توسط مدل، روند شبیه سازی در هر سه تیمار مدیریت کود اجرا شد. برای اجرای مدل HYDRUS، ابتدا باید محدوده هندسی مسئله میکرولایسیمتر به صورت محدوده مستطیل شکل برای مدل تعریف شد. به‌منظور افزایش دقت در شبیه‌سازی فرآیندهای چرخه نیتروژن در عمق‌های 15 و 30 سانتی‌متری، خاک به صورت دو لایه شامل لایه اول عمق 20-0 سانتی‌متری و لایه دوم عمق 40-20 سانتی‌متر به مدل معرفی شد.

برای محدوده هندسی تعریف شده شرایط مرزی بالادست، شرایط مرزی پایین دست و شرایط اولیه خاک می‌بایست تعریف شود. شرط مرزی بالادست با توجه به شیوه آبیاری ارتفاع آب متغیر در زمان اعمال کود و ارتفاع ثابت با 5 سانتی‌متر بعد از اعمال کود در نظر گرفته شدند. شرط مرزی پایین دست شدت جریان صفر و شرط اولیه هد فشاری صفر به دلیل اشباع بودن خاک در زمان شروع آزمایش انتخاب شدند. همچنین مرزهای جانبی به دلیل عدم ورود یا خروج آب، بدون شدت جریان در نظر گرفته شد. شرایط اولیه انتقال نیتروژن در خاک شامل مقادیر آمونیوم، نیتریت و نیترات موجود در خاک قبل از اعمال کود بود. از آنجا که مقدار کود اضافه شده به میکرولایسیمترها به‌صورت یک جریان از بالا به خاک اضافه شد، شرط مرزی بالادست برای انتقال نیتروژن (آمونیوم) در مدل، نوع سوم (Chouchy) و برابر با 0/63 میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب انتخاب گردید. شرط مرزی پایین دست نیز، شرط شدت جریان نمک صفر اعمال شد.

منحنی رطوبتی ون‌گنوختن معلم (1980) پس از سعی و خطا و مقایسه نتایج مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در میکرولایسیمتر به کار گرفته شد. برای کاهش تعداد پارامترهای مجهول که می‌بایست به روش حل معکوس تعیین شوند، پارامترهای مدل ون‌گنوختن شامل Θ_r، n و α با استفاده از شبکه عصبی Rosseta و ارائه پارامترهای درصد شن، سیلت و رس برآورد شدند. بنابراین از میان پارامترهای هیدرولیکی خاک پارامتر هدایت آبی اشباع به روش معکوس به‌دست آمد. با توجه به چرخه نیتروژن در اراضی شالیزاری، ضرایب چرخه نیتروژن شامل ضرایب تصعید، نیترات‌زدایی، نیترات‌زایی، پخشیدگی و انتشارپذیری با استفاده از حل معکوس بدست آمدند. از آنجاکه مدل HYDRUS تنها توانایی استفاده از حل معکوس برای یک نمک را دارد، تعیین ضرایب چرخه نیتروژن (سه شکل آمونیوم، نیترات و نیتریت) در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول ضرایب تبدیل آمونیوم به نیتریت و تصعید آمونیوم استخراج شد. سپس در مرحله دوم با ارائه مقادیر ضرایب استخراج شده از مرحله اول، سایر ضرایب انتقال، تبدیل و تغییر شکل‌های نیتریت به نیترات طی فرآیند نیترات‌زایی و نیترات به نیتریت طی فرآیند نیترات‌زدایی برآورد شدند.

برای مقایسه و ارزیابی مدل از تطبیق مقادیر تخمینی مدل و مقادیر مشاهده‌ای غلظت آمونیوم، نیتریت و نیترات، آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطای نرمای شده (n-RMSE) و ضریب کارایی مدل (EF) بدست آمدند.

نتایج و بحث

برای شناخت چرخه نیتروژن تحت مدیریت مختلف مدت زمان اعمال کود در اراضی شالیزاری، نتایج حاصل از روش حل معکوس ضرایب چرخه نیتروژن در جداول 3 و 6 ارائه شده است. جدول 3 برآورد ضرایب چرخه نیتروژن اشباع خاک به روش حل معکوس با مدل HYDRUS را در مرحله اول شبیه‌سازی شامل انتقال و تبدیل آمونیوم به نیتریت و تصعید نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که ضرایب چرخه نیتروژن از عمق خاک تاثیر می‌پذیرد. همچنین در عمق 15 سانتی‌متری خاک، ضرایب چرخه نیتروژن از مدیریت کود تاثیر پذیرفتند در حالی که در عمق 30 سانتی‌متری به غیر از ضریب انتشارپذیری و ضریب تبدیل آمونیوم به نیتریت سایر ضرایب ثابت بوده و تحت تاثیر مدت زمان ماند کود قرار نگرفتند. همان‌طور که در جدول 3 آمده است به غیر از ضریب پخشیدگی سایر ضرایب در عمق 15 سانتی‌متری بیش‌تر از عمق 30 سانتی‌متری خاک به‌دست آمدند. بیش‌تر بودن ضریب انتشارپذیری، ضریب تبدیل آمونیوم به نیتریت، ضریب جذب سطحی و تصعید را به ترتیب می‌توان ناشی از حرکت ذرات ریز خاک به سمت پایین و یکنواخت‌تر بودن خلل و فرج خاک در عمق 30 سانتی‌متری، وجود اکسیژن بیش‌تر در عمق 15 سانتی‌متری و وجود غلظت بیش‌تر آمونیوم در عمق 15 سانتی‌متری

Archive of SID

www.SID.ir

دانست. از مقایسه پارامترها چنین بر می‌آید که تیمار 72 ساعت ماند کود در کرت و سپس رهاسازی آن از انتهای کرت، باعث کاهش ضریب پخشیدگی (Diffw) و افزایش ضریب انتشارپذیری آمونیوم در خاک می‌شود. همچنین در تیمار 48 ساعت، بیش‌ترین مقدار تصعید و تبدیل آمونیوم به نیتریت روی داد که این نتیجه تاییدی است بر گزارش (Mei-Hua et al., 2012) که مدت زمان لازم برای هیدرولیز کود اوره را 48 ساعت برآورد نمودند.

جدول 4 مقادیر پارامترهای مدل ون‌گنوختن به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی Rosetta و پارامتر هدایت آبی اشباع حاصل از روش حل معکوس مدل HYDRUS را نشان می‌دهد. مقایسه مقدار هدایت آبی اشباع تخمینی Rosetta (11/32 سانتی‌متر بر روز) با مقدار برآوردی روش حل معکوس تطابق بسیار زیادی دارد و این مسئله تاییدی بر توانایی درک خصوصیات خاک توسط مدل HYDRUS است. کم‌تر برآورد شدن هدایت آبی اشباع در لایه دوم نسبت به لایه اول ناشی از تراکم و نشست خاک است.

جدول 3- برآورد ضرایب چرخه نیتروژن و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش حل معکوس

عمق (cm)	تیمار	Diffw (cm^2/d)	DISPL (cm^2/d)	K_d	sinkl´ (1/d)	sinkG (1/d)
15	I5R24	2/93	73/74	0/01135	0/0090000	0/0010
15	I5R48	2/67	58/90	0/00383	0/0222900	0/0060
15	I5R72	2/28	80/97	0/00045	0/0146900	0/0010
30	I5R24	5/00	54/57	0/00300	0/0002170	0/00001
30	I5R48	5/00	54/34	0/00300	0/0002170	0/00001
30	I5R72	5/00	89/00	0/00300	0/000350	0/00001

جدول 4- پارامترهای هیدرولیکی مدل ون‌گنوختن برای خاک مورد نظر

عمق (cm)	n	Alpha (cm)	Θ_s (%)	Θ_r (%)	k_s (cm/d)	l
لایه اول	1/29	0/03	0/59	0/0829	12/43	0/5
لایه دوم	1/29	0/03	0/59	0/0829	10/50	0/5

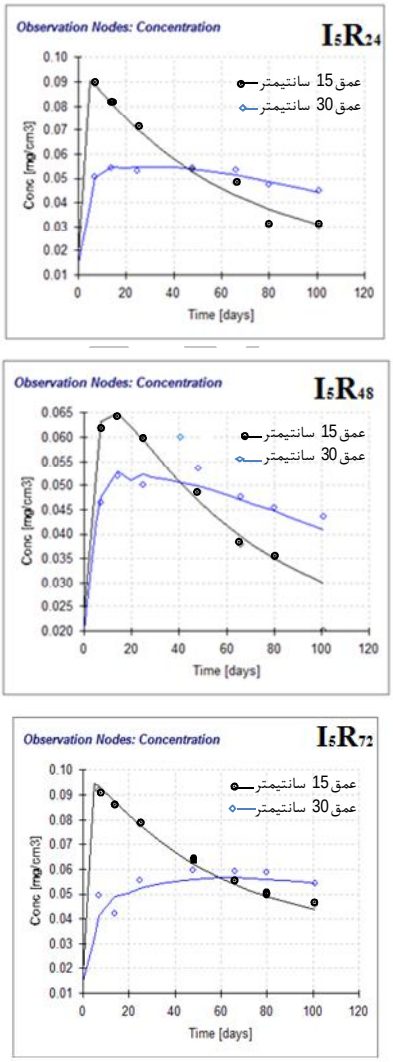
مقایسه نتایج شبیه‌سازی انتقال آمونیوم توسط مدل در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل 2 تحت تیمارهای مختلف مدیریت کود در دو عمق 15 و 30 سانتی‌متر نشان داده شده است. نتایج حاصل از برآورد آماره‌های ارزیابی نتایج مدل در جدول 5 ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی غلظت آمونیوم در اراضی شالیزاری دارد. پایین بودن مقدار آماره RMSE نشان دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی است. بر اساس شاخص‌های ارزیابی می‌توان نتیجه گرفت که مدل HYDRUS در شبیه‌سازی آمونیوم در لایه‌های خاک در تیمار اشباع در عمق 30 سانتی‌متری ضعیف‌تر بوده و مقدار آمونیوم را کم‌تر از مقدار واقعی آن شبیه‌سازی می‌کند که مشابه با نتایج Ramos et al., 2007 می‌باشد. مقدار RMSE گزارش شده توسط راموس و همکاران (Ramos et al., 2007) برای ارزیابی مقدار پیش‌بینی آمونیوم توسط مدل HYDRUS-1D در خاک شنی و برای گیاه ذرت، 1/26میلی‌گرم بر لیتر گزارش شد که در این پژوهش به طور متوسط در عمق 15 سانتی‌متر 6/03 میلی‌گرم بر لیتر و در عمق 30 سانتی‌متر 5/15 بدست آمد. در خصوص EF نیز در عمق 15 سانتی‌متر به طور متوسط 0/82 به دست آمد که در مقایسه با عمق 30 سانتی‌متری (0/78) بیش‌تر بود. مقایسه مقادیر شاخصه‌های آماری در مدیریت‌های مختلف کود (24، 48 و 72 ساعت زمان ماند کود بر روی سطح خاک و سپس تخلیه آن) نشان داد که در هر دو عمق مورد بررسی، مدل توانست شکل‌های آمونیوم و نیتراتی نیتروژن را در تیمار مدیریتی 24 ساعت مدت زمان ماند کود دقیق‌تر از 48 و 72 ساعت مدت زمان ماند کود شبیه‌سازی نماید.

جدول 6 ضرایب نیترات‌زایی (تبدیل نیتریت به نیترات) و نیترات‌زدایی (تبدیل نیترات به نیتریت و گازهای نیتروژن) در تیمارهای مختلف کود را نشان می‌دهد. طبق نتایج ضریب نیترات‌زایی در عمق 15 سانتی‌متری بیش‌تر از عمق 30 سانتی‌متری به دست آمد که می‌تواند به دلیل وجود اکسیژن بیش‌تر در عمق 15 سانتی‌متری باشد. ضریب نیترات‌زدایی در عمق 30 سانتی‌متری بیش‌تر از عمق 15 سانتی‌متری بود که وجود شرایط مساعدتر نیترات‌زدایی در اعماق بیش‌تر به دلیل فعالیت بیش‌تر باکتری‌های غیرهوازی را نشان می‌دهد. در هر دو عمق مورد بررسی تیمار زمان ماند 72 و 48 ساعت به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین ضریب نیترات‌زایی را داشتند. ضریب

Archive of SID

www.SID.ir

نیترات‌زدایی در عمق 15 سانتی‌متری در تیمار 48 ساعت بیش‌تر از سایر تیمارها بود که دلیل کم‌تر بودن ضریب نیترات‌زایی در این تیمار را توجیه می‌نماید. ضریب نیترات‌زدایی در عمق 30 سانتی‌متری از مدیریت زمان ماند کود تاثیر نپذیرفت.



شکل 2- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی (خط) و مشاهده‌ای غلظت آمونیوم بر حسب میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب (نقطه) در تیمارهای مدیریت کود 24 ساعت (I_5R_{24})، 48 ساعت (I_5R_{48}) و 72 ساعت (I_5R_{72})

جدول (7) و (8) مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی نیتریت و نیترات را نشان می‌دهد. مطابق با مقادیر آماره‌ها، مدل در عمق 30 سانتی‌متری توانایی مناسب‌تری برای شبیه‌سازی نیتریت داشت که این مسئله می‌تواند به دلیل حاکم بودن فرآیند نیترات‌زدایی در این عمق باشد در حالی که در عمق 15 سانتی‌متری با افزایش احتمال وقوع فرآیند نیترات‌زایی در کنار فرآیند نیترات‌زدایی از دقت مدل کاسته شد. این نکته در خصوص روند شبیه‌سازی نیترات (جدول 8) نیز صدق می‌کند به طوری که در عمق 15 سانتی‌متری دقت شبیه‌سازی مدل بیش‌تر از 30 سانتی‌متری بود.

جدول 5- ارزیابی آماری شبیه‌سازی مقادیر آمونیوم توسط مدل HYDRUS در مدیریت‌های مختلف کود

EF	n-RMSE (%)	RMSE (mg/l)	R^2	تیمار	عمق (cm)
0/99	0/30	0/020	0/95	I_5R_{24}	15
0/78	0/50	8/150	0/64	I_5R_{48}	15
0/69	5/50	17/800	0/78	I_5R_{72}	15
0/78	3/00	0/001	0/96	I_5R_{24}	30
0/89	8/90	10/150	0/71	I_5R_{48}	30
0/69	0/70	5/320	0/75	I_5R_{72}	30

مطابق با نتایج آماری، در هر دو عمق نیتریت در تیمار کودی 48 و 72 ساعت با دقت بیش‌تری نسبت به تیمار 24 ساعت شبیه‌سازی شد. مقایسه آماره‌ها در شبیه‌سازی نیترات حاکی از آن است که مدل در هر دو عمق در تیمار کودی 24 ساعت موفق‌تر عمل نمود.

جدول 6- برآورد ضرایب نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی توسط مدل HYDRUS در مدیریت‌های مختلف کود

ضریب نیترات‌زدایی (1/d)	ضریب نیترات‌زایی (1/d)	تیمار	عمق (cm)
0/0280	0/000500	I_5R_{24}	15
0/0500	0/000065	I_5R_{48}	15
0/0350	0/000600	I_5R_{72}	15
0/0900	0/000380	I_5R_{24}	30
0/0800	0/000052	I_5R_{48}	30
0/0900	0/000480	I_5R_{72}	30

جدول 7- ارزیابی آماری شبیه‌سازی مقادیر نیتریت مدل HYDRUS در مدیریت‌های مختلف کود

EF	n-RMSE (%)	RMSE (mg/l)	R^2	تیمار	عمق (cm)
0/54	52/48	15/48	0/59	I5R24	15
0/68	27/30	15/35	0/32	I5R48	15
0/69	26/32	15/90	0/38	I5R72	15
0/59	25/36	32/90	0/69	I5R24	30
0/59	48/01	8/70	0/75	I5R48	30
0/78	50/00	8/90	0/89	I5R72	30

Archive of

www.SID.ir

جدول 8- ارزیابی آماری شبیه‌سازی مقادیر نیترات مدل HYDRUS در مدیریت‌های مختلف کود

عمق (cm)	تیمار	R^2	RMSE (mg/l)	n-RMSE (%)	EF
15	I_5R_{24}	0/81	10/70	20/00	0/800
15	I_5R_{48}	0/78	35/45	59/00	0/250
15	I_5R_{72}	0/89	5/350	68/00	0/480
30	I_5R_{24}	0/61	5/140	20/36	0/530
30	I_5R_{48}	0/60	58/90	15/23	0/680
30	I_5R_{72}	0/50	10/70	36/27	0/800

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان ماند کود از 24 ساعت به 72 ساعت، نگهداشت نیتروژن در خاک افزایش یافت و در نتیجه از انتقال آن به رواناب و در نتیجه آب‌های سطحی جلوگیری نمود. تیمارهای 72 ساعت باعث کاهش ضریب پخشیدگی و افزایش ضریب انتشارپذیری آمونیوم در خاک شد. با توجه به بیش‌تر بودن ضریب تبدیل آمونیوم به نیتریت (sinkl) و ضریب نیترات‌زدایی در تیمار 48 ساعت زمان ماند کود به دلیل به ترتیب افزایش بهره‌وری استفاده از کود نیتروژن و کاهش خروج نیتروژن به شکل نیترات از اراضی شالیزاری، این تیمار به عنوان مدت زمان مناسب اعمال کود و سپس باز نمودن انتهای کرت و رهاسازی رواناب و سپس شروع مجدد آبیاری قابل توصیه است هر چند مطابق نتایج در این تیمار ضریب تبدیل نیتروژن به گاز آمونیاک (SinkG) بیش‌تر بود. مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های مشاهده‌ای نشان داد که مدل HYDRUS توانایی خوبی در شبیه‌سازی پارامترهای چرخه نیتروژن دارد. میزان ضریب تبیین در شبیه‌سازی نیترات بیش‌تر از آمونیوم و نیتریت بود که به دلیل غیر پایدار بودن یون نیتریت در چرخه می‌باشد و امکان تبدیل یون نیترات و آمونیوم به نیتریت از دلایل اصلی این امر می‌باشد. در عمق 30 سانتی‌متری آمونیوم و نیترات با دقت بیش‌تری نسبت به 15 سانتی‌متری داشت. دقت شبیه‌سازی مدل در تیمارهای مختلف مدیریت کود در شکل‌های مختلف نیتروژن متفاوت بود به طوری‌که در شکل آمونیومی و نیتراتی مدل توانست مدت زمان ماند کود 24 ساعت را با دقت بیش‌تری شبیه‌سازی نماید. اما مدل در شبیه‌سازی شکل نیتریتی نیتروژن در مدیریت مدت زمان ماند 48 و 72 ساعت دقت بیش‌تری نسبت به 24 ساعت داشت.

منابع

شیرانی،ح.، م. کرد،غ.، صیاد،ع و نقوی،ه. 1390. شبیه‌سازی حرکت برمید در ستون‌های دست‌خورده خاک با استفاده از مدل HYDRUS-1D. پژوهش‌های آبخیزداری. 92. 21-31.

Abichandani,C.T and Patnaik,T. 1955. Mineralizing action of lime on soil nitrogen in waterlogged rice soils. Int. Rice Comm. Newslett. 13: 11-13.

Chotpantarat,S., Limpakanwech,C.H., Siriwong,W., Siripattanakul,S and Sutthirat.C.H. 2011. Effect of soil water characteristic on simulation of nitrate vertical transport in a THAI agricultural soil. Sustainable Environment Research. 21:187-193.

Eaton,A.D., Clesceri,L.S and Greenberg,B. 1995. Standard Method: For Examination of Water and Wastewater.

Heatwole,K.K., McCray,J. 2006. Modeling potential vadose-zone transport of nitrogen from onsite wastewater systems at the development scale. Journal. Contaminant Hydrology. 91: 184–201.

Jing,Q., Bouman,B.A.M H., Hengsdijk,H., Van Keulen,G and Cao,W. 2007. Exploring options to combine high yields with high nitrogen use efficiencies in irrigated rice in China. Europ. J. Agronomy. 26: 166–177.

Mikkelsen,D.S., De Datta,S.K and Obcemea,W.N. 1978. Ammonia volatilization losses from flooded rice soils. Soil Science Societyof America Journal. 42: 725-730.

Mitsui,S. 1954. Inorganic nutrition, fertilization and soil amelioration for lowland rice. Yokendo Press, Tokyo. 107.

Ramos,T.B., Simunek,J., Goncalves,M.C., Martins,J.C., Prazeres,A., Castanheira,N.L., Pereira.L.S. 2011. Field evaluation of a multicomponent solute transport model in soils irrigated with saline waters. Journal of Hydrology. 407: 129–144.

Simunek,J., Senja,M., Genuchten,M.T.h. 1998. The HYDRUS-1D software pakage for simulation the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutions variable-saturated media, Version 2.0. International Grorund Water Modeling Center-TPS-70. Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 162.

Tafthe,A and Sepaskhah,A. 2012. Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow rapeseed and maize fields. Agricultural Water Management. 113: 19-29.

Teixeira,C.C., Magalhaes,R., Boaventura,A., Bordalo,A. 2011. Potential rates and environmental controls of denitrification and nitrous oxide production in a temperate urbanized estuary. Nitrate fate in a Marine Environmental Research. Agricultural Water Management. 70: 336-342.

Thuyet,D.Q., Quoc Hien,T.H., Watanabe,H., Saito Khanh Phong.T.H., Nishimura,T. 2010. Micro paddy lysimeter for monitoring solute transport in paddy environment. Paddy and Water Environment.

Archive of SID

www.SID.ir

Wen zhi,Z., Xu,J., Wei Wu,J., Huang,J. 2013. Soil salt leaching under different irrigation regimes: HYDRUS-1D modelling and analysis. Journal of Arid Land. 6: 44-58

Xu J., Peng,S.H., Yang,S.H., Wang,W. 2012. Ammonia volatilization losses from a rice paddy with different irrigation and nitrogen managements. Agricultural Water Management. 104: 184-192.

8:235–245.

van Genuchten,M.T. 1980. Aclosed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of American Journal. 44:892–898.

Wallach,R., Israeli,M and Zaslavsky,D. 1991. Small perturbation solution for steady non-uniform infiltration into soil surface of a general shape. Water Resources Research. 27: 1665-1670.

Archive of SID

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 10, Jan.-Feb. 2017, p. 723-731

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 6، جلد 10، بهمن - اسفند 1395، ص. 731-723

Simulation of Nitrogen Cycle under Different Management of Remaining Duration of Fertilizer in Paddy Fields Using HYDRUS_1D

M, Navadian[*1], N, Jalilnejad Masoleh[2], M, Esmaeili Varaki[3], M.H, Biglouei[4]
Recived: Feb.11, 2016 Accepted: Nov.09, 2016

Abstract

Nitrogen fertilizers used in agriculture are a source of environmental and water resources pollution and using simulation model to recognize its cycle could be important role to control and reduce environmental pollution. In paddy fields, nitrogen has complex cycle due to irrigation management and submerged condition. In this study, HYDRUS model was used to simulate and study nitrogen cycle under different fertilizer management treatments including 24, 48 and 72 hours remaining duration of fertilizer and releasing it by runoff. Micro lysimeters were used for simulating the nitrogen cycle in paddy field. The soil texture of this experiment soil was silty clay loam and after applying the urea fertilizer and treatments of the research, ammonium, nitrate and nitrite concentrations were measured for 4 months (June to September) at depths of 15 and 30 cm. Changes rate of ammonium to nitrite, nitrification and denitrification was obtained more at depth of 15 cm than depth of 30. Model could be simulated ammonium and nitrate more accurately than nitrite so that correlation coefficient of simulation were 0.79, 0.70 and 0.60, respectively. At a depth of 30 cm changes rate of ammonium to nitrite did not affect by fertilizer management treatment.

Keywords: Ammonium, Nitrate, Nitrite, Submerged irrigation, Urea

Archive of SID

1,3- Assistant Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan and Depttment of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center
2- M.Sc. student of Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan
4- Associated Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan
(* -Corresponding Author Email: Navabian@guilan.ac.ir)

www.SID.ir