واسنجی آب‌شویی نیترات و نوسانات سطح ایستابی در زمین‌های شالیزاری با استفاده از نرم‌افزار DRAINMOD-N

حمید زارع ابیانه[1*]، حدیثه نوری[1]، عبدالمجید لیاقت[2]، ولی الله کریمی[3] و حمیده نوری[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۲۴)

چکیده

کودهای شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی از منابع آلاینده محیط زیست مانند منابع آب زیرزمینی و خاک هستند. شناخت عوامل مؤثر بر حرکت آب و نمک‌ها در نیم‌رخ خاک کمک مؤثری در مدیریت منابع آب و کاهش آب‌شویی نمک‌ها از ناحیه ریشه می‌نماید. در این پژوهش برای شبیه‌سازی و ارزیابی سطح ایستابی و انتقال نیترات با داده‌های یک مزرعه برنج از نرم‌افزار DRAINMOD-N استفاده شد. برای ارزیابی کارآیی این نرم‌افزار، یکی از قطعه‌های زراعی مجهز به سیستم زه‌کش سطحی در منطقه محمود آباد (مازندران)، سطح ایستابی و غلظت نیترات در آب زیرزمینی به مدت ۴ ماه (خرداد الی شهریور) در سال ۱۳۸۷ اندازه‌گیری شد. بافت خاک قطعه زراعی رس سیلتی بود. هم‌چنین از ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار اوره طی دو مرحله استفاده شد. نرم‌افزار با تغییر ضرایب معدنی شدن و دنیتریفیکاسیون در دامنه مقادیر پیشنهاد شده از سوی دیگر پژوهشگران واسنجی شده و برای شرایط واقعی اجرا شد. نتایج نشان داد که تغییرات سطح ایستابی و غلظت نیترات در زیر منطقه ریشه در اکثر مواقع به خوبی توسط نرم‌افزار برآورد گردید و از هماهنگی نسبی خوبی با شرایط مزرعه برخوردار است. کارآیی نرم‌افزار در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی منطقه ریشه ۰/۸۴ و غلظت نیترات ۰/۹۷ به‌دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که نرم‌افزار DRAINMOD-N برای شبیه‌سازی مدیریت سطح ایستابی و غلظت نیترات تحت شرایط اقلیمی منطقه محمودآباد (مازندران) می‌تواند مفید باشد. به‌عبارت دیگر این نرم‌افزار به‌عنوان ابزار مدیریتی برای کاهش و جلوگیری از مسائل و دشواری‌های زیست محیطی نیترات در مناطق شالی‌کاری قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: زمین‌های شالیزاری، سطح ایستابی، نیترات، DRAINMOD-N، معدنی شدن، دنیتریفیکاسیون

۱. به ترتیب دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۲. به ترتیب استاد و دانشجوی دکتری آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
۳. کارشناس ارشد مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zareabyaneh@gmail.com

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مقدمه

عملکرد یکی از پارامترهای مهم زراعت هر گیاه مثمر محسوب می‌شود که تابعی از عوامل بسیار از جمله رطوبت خاک، مواد آلی و مواد معدنی ناحیه ریشه است. سطح عملکرد محصول‌های کشاورزی در بسیاری از موارد به وجود یا عدم وجود عناصر غذایی و کفایت یا عدم کفایت رطوبت در ناحیه ریشه وابسته است. استفاده از کودهای شیمیایی از جمله نیتروژن در بیشتر خاک‌ها، در جهت رفع کمبود مواد مغذی برای رشد گیاهان صورت می‌گیرد. ولی در خاک‌های مرطوب، مانند نواحی شمالی ایران، به دلایل گوناگون از جمله آب‌شویی و تصعید، کمبود این عناصر ممکن است تشدید شود. کاربرد نامناسب نیتروژن می‌تواند باعث کاهش عملکرد، آلوده‌شدن آب‌های زیرزمینی و هوا گردد (۷ و ۱۸). به‌عنوان نمونه بررسی‌های زینگ و ژو(۲۶) در زمین‌های شلتوک کشور چین نشان داد که میزان هدررفت عمقی و سطحی سالانه نیتروژن به‌ترتیب ۶/۷۸ تا ۲۷ و ۲/۴۵ تا ۱۹ کیلوگرم در هکتار است. نیتروژن در شالیزارها سبب زیاد شدن سرعت رشد، شادابی بوته و افزایش پروتئین دانه می‌شود و به‌همین دلیل کشاورزان در سطح وسیعی آن را مصرف می‌کنند. مصرف زیاد و دائمی نیتروژن می‌تواند اثرهای زیست محیطی مانند به‌خطر انداختن سلامتی انسان و دام، کاهش اکسیژن در اعماق آب‌ها و افزایش نیترات در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را در پی داشته باشد (۱۹). بنابراین در راستای برنامه‌ریزی برای مدیریت کودی و استفاده از مواد مغذی نیاز، روش‌های کمّی در ارزیابی مزرعه‌ای مورد نیاز است. اندازه‌گیری نیترات شستشو یافته از منابع غیرنقطه‌ای امری پیچیده و نیازمند زمین‌های وسیع و ابزارهای آزمایشگاهی است (۲). به‌همین دلیل چی‌کوو و همکاران (۱۴) اعتقاد دارند اختلاف غلظت نیتروژن اندازه‌گیری‌شده در زمان‌های مختلف می‌تواند برای محاسبه نیتروژن شستشو یافته در لایه‌های خاک به‌کار گرفته شود.

پژوهش‌های انجام‌شده در ارتباط با نیتروژن مانند شستشوی آن در زمین‌های کشاورزی و یا تجمع در آب‌های سطحی و زیرزمینی بسیار متنوع است. ولی آنچه که در بیشتر این پژوهش‌ها مشترک است شبیه‌سازی داده‌ها به کمک نرم‌افزارهای رایانه‌ای است. امروزه با رشد قابلیت‌های نرم‌افزاری و پیشرفت روش‌های رایانه‌ای، امکان جمع‌آوری، ذخیره و پردازش عوامل زمانی و مکانی مؤثر فراهم شده که نقش مؤثری در بهینه‌سازی و شبیه‌سازی داشته است. نرم‌افزارهای مختلفی برای بررسی نیترات شسته شده و انتقال آن به آب‌های زیرزمینی در شرایط گوناگون وجود دارند که از آن جمله نرم‌افزار DRAINMOD-N است. این نرم‌افزار به‌عنوان ابزاری مناسب برای توصیف حرکت و واکنش‌های نیتروژن در نیم‌رخ خاک (۲۸)، زه‌کشی مصنوعی و پیش‌بینی سطح ایستابی است(۲۴ و ۲۵). بدین ترتیب، نرم‌افزار DRAINMOD-N یک نرم‌افزار جامع و کامل در مقیاس میدانی می‌باشد که برای شبیه‌سازی غلظت نیترات در ناحیه اشباع و غیراشباع و سطح ایستابی در یک ناحیه زه‌کش طراحی شده است (۷). گزارش پژوهشگران دیگر مانند سادک و همکاران (۲۱) هم حاکی از مناسب بودن این نرم‌افزار برای مدیریت کودی و آبی براساس متغیرهای شرایط اولیه و مرزی خاک، نوع گیاه و اقلیم مناسب است. رهبری و همکاران (۴) با ارزیابی نرم‌افزار DRAINMOD-N در برآورد غلظت نیترات در ناحیه رشد ریشه یک مزرعه ذرت نشان دادند که این نتایج در اکثر مواقع با غلظت نیترات اندازه‌گیری شده در مزرعه هماهنگی دارد. یانگ و همکاران (۲۷) با اجرای نرم‌افزار DRAINMOD-N، در تعدادی مزارع ذرت نشان دادند که نرم‌افزار به‌خوبی قادر به پیش‌بینی وضعیت هیدرولوژیک خاک و تلفات نیتروژن در رواناب سطحی و زه‌کشی زیرزمینی می‌باشد. در پژوهشی دیگر، ارزیابی‌های هلویگ و همکاران (۱۶ و ۱۷) نشان داد نرم‌افزار DRAINMOD-N پیش‌بینی خوبی از پارامترهای هیدرولوژیک مزرعه داشته ولی برآورد کاملی از تلفات نیترات در زه‌آب خروجی از سیستم زه‌کش نداشت. نقش داشتن عوامل مؤثر زیادی مانند ویژگی‌های خاک، سیستم زه‌کشی، وضعیت آب و هوایی و رژیم کوددهی در پیش‌بینی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

نیترات می‌تواند سبب اختلاف نتایج پژوهشگران باشد (۹).

زمین‌های شالی‌کاری شمال ایران به‌دلیل شرایط آب و هوایی مانند بارندگی، سنگینی بافت بیشتر خاک‌ها و زه‌کشی ضعیف خاک‌های آن ناحیه دارای دشواری‌هایی هستند (۱۰). یکی از دشواری‌های مهم این زمین‌ها، زه‌کشی ضعیف است که با توجه به هزینه‌های زیاد مانع اجرای یک سیستم زه‌کشی زیرزمینی مجهز به خروجی‌های بازشونده به‌عنوان راه‌کاری اصولی می‌باشد. بنابراین در شرایط فعلی، اجرای سیستم‌های زه‌کشی سطحی از نظر شرایط فنی، اقتصادی و فرهنگی قابل توجیه است. در این خصوص می‌توان گفت که پژوهش‌های کمی در مورد نوسان‌های سطح ایستابی کم‌عمق و کود در زمین‌های شالیزاری مجهز به زه‌کش‌های سطحی شده است.

با توجه به پژوهش‌های فوق، نرم‌افزار DRAINMOD-N پس از واسنجی ابزار مناسبی در شبیه‌سازی نوسان‌های سطح ایستابی و انتقال نیترات به‌منظور بهینه‌سازی مصرف آب و کود است. بنابراین در این پژوهش شستشوی نیترات در زمین‌های شالیزاری محمودآباد در استان مازندران بررسی شد. هدف از این پژوهش، ارزیابی توان‌مندی نرم‌افزار DRAINMOD-N در قطعه زراعی مجهز به سیستم زه‌کش سطحی با وارد نمودن دانسته‌های اندازه‌گیری شده آب، خاک و گیاه است.

مواد و روش‌ها

برای تعیین الگوی شستشوی نیترات در ناحیه اشباع ریشه، اندازه‌گیری‌ها در زمان‌های مختلف، از کاشت در یک قطعه زمین شالیزاری دارای یک خط زه‌کش سطحی انجام شد. زمین مورد نظر یکی از کرت‌های مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز واقع در کیلومتر ۱۰ جاده آمل - محمودآباد از استان مازندران (کاپیک) بود. مساحت این مرکز ۶۰ هکتار است که در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۵/۵ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین درازمدت بیشینه و کمینه دما به‌ترتیب ۳۲/۷ و ۷/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۸۸۲/۶ میلی‌متر است که ۶۳ درصد از ریزش‌ها در ماه شهریور تا آذر می‌باشد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در یک قطعه کرت ۹۰۰۰ مترمربعی مجهز به یک خط زه‌کش سطحی با عمق ۱ متر صورت گرفت. شکل ۱ موقعیت منطقه شالیزار کاپیک را نشان می‌دهد.

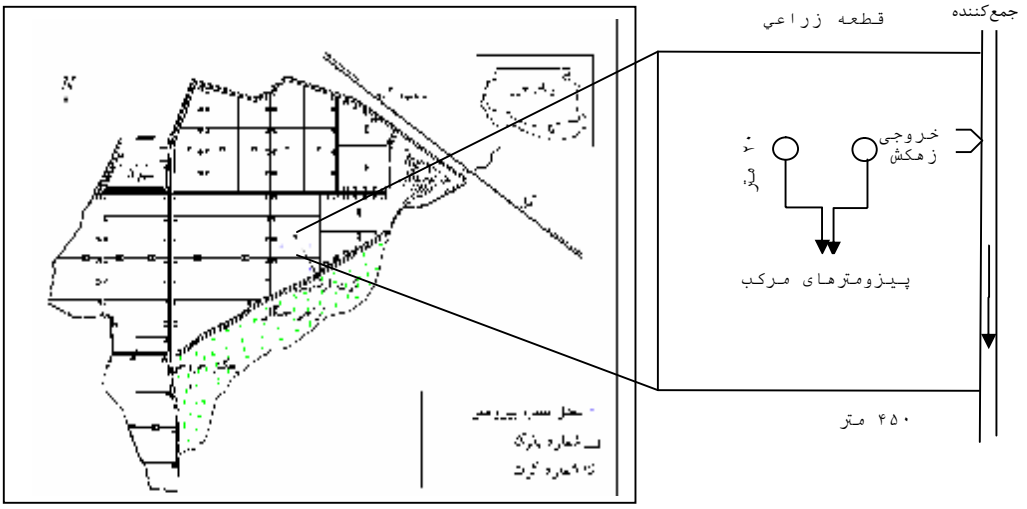
بافت غالب خاک مزرعه رس سیلتی می‌باشد که نشان‌دهنده ریزدانه بودن خاک است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مانند بافت خاک، رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، اسیدیته خاک و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، به‌ترتیب با روش‌های هیدرومتری، دستگاه صفحات فشاری، pHسنج و هدایت‌سنج دیجیتالی پیش از کاشت با نمونه‌گیری از لایه‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (۵). هم‌چنین ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری نیز با نمونه‌برداری از آن تعیین گردید. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در لایه ۳۰-۰ سانتی‌متر و آب آبیاری در جدول ۱ آورده شده است.

پس از آماده‌سازی زمین، نشاهای برنج رقم فجر از خزانه به زمین اصلی منتقل شده و به‌صورت مکانیزه کشت شد. نشاها به صورت کپه‌ای در فواصل ۱۶ سانتی‌متر، در ردیف‌هایی به فاصله ۳۰ سانتی‌متر در تاریخ ۱۹ خرداد ۱۳۸۷ کشت شده و برداشت در ۲۸ شهریور ماه انجام گرفت. آبیاری به‌صورت سطحی با روش استغراق متناوب بود و برای آبیاری از یک حلقه چاه موجود در مزرعه استفاده شد. کود نیتروژنه مورد نیاز در دو نوبت از منابع کود اوره به میزان ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار تأمین شد. کوددهی اول در تاریخ ۲۹ خرداد با مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره و کوددهی دوم در تاریخ ۱۷ تیر با مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار انجام گرفت. علاوه براین مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات دوپتاس هم در نوبت اول کوددهی مصرف شد. طول دوره رشد گیاه برنج ۱۰۲ روز، عمق مؤثر ریشه ۴۰ سانتی‌متر و

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل ۱. شمایی کلی از زمین‌های شالیزاری و کرت آزمایشی مورد مطالعه

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و آب آبیاری

عوامل اندازه‌گیری شده	مقادیر
خاک	
۱- بافت خاک	رس سیلتی
الف - درصد شن	۱۱/۷
ب - درصد سیلت	۴۶/۴
ج - درصد رس	۴۱/۹
۲- رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی (درصد)	۳۴
۳- رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی (درصد)	۲۰
۴- اسیدیته خاک (pH)	۶/۸
۵- هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ($dS\ m^{-1}$)	۰/۸
آب آبیاری	
۶- اسیدیته	۷/۹
۷- هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	۰/۶
۸- نیترات ($mg\ l^{-1}$)	۷/۳
۹- قلیاییت ($mg\ l^{-1}$)	۲۵۰
۱۰- سختی کل ($mg\ l^{-1}$)	۶۷۵
۱۱- کلر ($meq\ l^{-1}$)	۱
۱۲- کربنات ($meq\ l^{-1}$)	۰
۱۳- بی‌کربنات ($meq\ l^{-1}$)	۵
۱۴- منیزیم ($meq\ l^{-1}$)	۱۰/۵
۱۵- کلسیم ($meq\ l^{-1}$)	۳

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

عملکرد شلتوک برابر ۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. در طول فصل رشد، دو سری سنجش به‌منظور اندازه‌گیری تغییرات سطح ایستابی و غلظت نیترات انجام شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دو عدد پیزومتر پلی‌اتیلن مجهز به فیلتر ژئوتکستایل نصب شده در عمق ۹۰ سانتی‌متری سطح زمین انجام شد. عمق سطح آب زیرزمینی در منطقه در محدوده صفر تا ۴۵ سانتی‌متری در نوسان بود. تمامی نمونه‌برداری‌های مرتبط با آب براساس روش‌های استاندارد به شکل لحظه‌ای (آنی) در ظروف شیشه‌ای عاری از آلودگی انجام گرفت. به‌منظور جلوگیری از تغییر کیفی، نمونه‌های آب در یخدان مخصوص، با دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد حفظ و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال یافتند. سنجش‌های مربوط به غلظت نیترات و فسفات نمونه‌های آب توسط دستگاه اسپکتروفتومتری قرائت شد. اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC) به‌ترتیب با pHسنج و هدایت‌سنج دیجیتالی قابل حمل و عناصر کلر، منیزیم، کربنات و بی‌کربنات از روش تیتراسیون و منگنز با دستگاه جذب اتمی انجام شد (انجمن آزمایش مواد آمریکا، ۱۹۹۵). این پژوهش در مزرعه انجام گرفت و به دلیل این‌که شرایط غرقابی مزرعه می‌بایستی حفظ شود، از این‌رو خروجی زه‌کش سطحی در همه زمان‌ها باز نبود. بنابراین میزان نیترات آب‌شویی شده از خروجی زه‌کش و از زیر منطقه ریشه به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نبود. به همین دلیل میزان نیترات موجود در ناحیه ریشه برابر میزان آب‌شویی فرض شد. این فرض براساس پژوهش‌های انجی و دروری (۲۰) و بهمنی و همکاران (۲) بود. هر چند ممکن است چنین فرضی همیشه درست نباشد، ولی یک راه منطقی برای تخمین غلظت نیترات آب‌شویی شده است. زیرا نیترات محلول در آب این ناحیه جذب سطحی ذرات خاک نبوده و می‌تواند با آب‌شویی خارج شود. داده‌های نیترات و عمق آب زیرزمینی در زمان‌های مختلف، اندازه‌گیری شده و بررسی نوسان‌های سطح ایستابی و نیترات به‌کمک نرم‌افزار DRAINMOD-N بر پایه معادله کرکهام و بیلان نیترات است (۱۳). نرم‌افزار فوق نوسان‌های سطح ایستابی را با توجه به وجود بار آبی روی سطح زمین در حالت ماندگار شبیه‌سازی می‌نماید. هم‌چنین مقدار نفوذ آب به داخل خاک در نرم‌افزار DRAINMOD-N بر پایه معادله گرین امپت است.

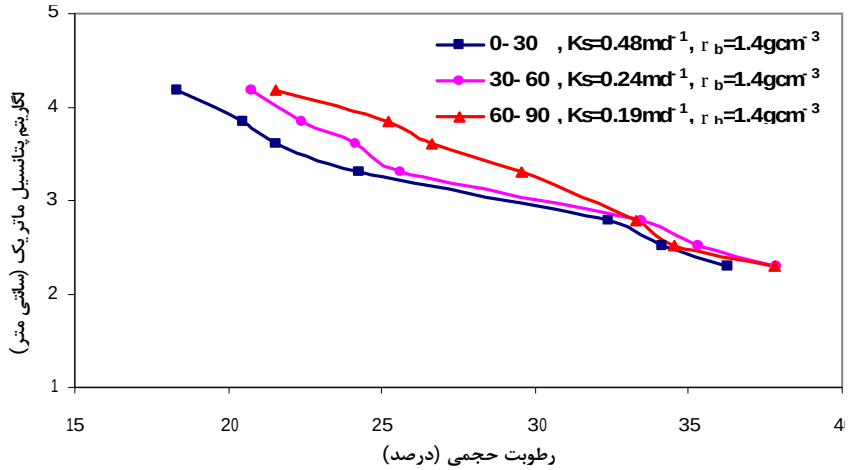
برای اجرای نرم‌افزار باید دانسته‌ها و آمار مناسبی از پارامترهای هواشناسی، خاک، گیاه و نیتروژن در سطح کرت شالیزاری به محیط نرم‌افزار وارد شده تا شبیه‌سازی تغییرات سطح ایستابی و غلظت نیترات انجام گردد. پارامترهای هواشناسی از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی مرکز در فاصله ۵۰۰ متری از کرت آزمایشی استخراج شدند. در این راستا، از دانسته‌های دمای بیشینه و کمینه هوا و بارندگی به تفکیک ماه‌های فصل کشت شامل خرداد، تیر، مرداد و شهریور استفاده شد. هم‌چنین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل با توجه به دانسته‌های هواشناسی منطقه از تشت (نشریه فائو ۵۶) محاسبه شده و مستقیماً به نرم‌افزار وارد گردید (۱). استخراج منحنی مشخصه رطوبتی خاک در آزمایشگاه توسط دستگاه صفحه‌های فشاری برای لایه‌های ۳۰-۰ ، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰، در مکش‌های ماتریک صفر، ۰/۲، ۰/۳۳، ۰/۶، ۲، ۴، ۷ و ۱۵ بار به‌دست آمد. از مشخصات رطوبتی خاک برای شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی در نیمرخ خاک استفاده شد. هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) با روش چاهک و چگالی ظاهری خاک (r_b) به کمک روش استوانه‌های نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. نتایج منحنی مشخصه رطوبتی خاک به صورت ترسیمی در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

برای دست‌یابی به داده‌های مربوط به نیتروژن می‌بایستی تحلیل حساسیت، واسنجی و صحت‌یابی که یکی از مراحل ضروری در استفاده از یک نرم‌افزار است، انجام شود. به‌منظور انجام مراحل سه گانه فوق از بخش‌های مربوط به رشد محصول برنج و انتقال نیترات نرم‌افزار DRAINMOD-N، استفاده شد. داده‌های موجود در منابع علمی نشان داد که نرم‌افزار فوق بیشترین حساسیت را به ضرایب معدنی شدن و دنیتریفیکاسیون دارد (۱۶ و ۱۷). بدین ترتیب محدوده مقادیر

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل ۲. منحنی مکش خاک در لایه‌های مختلف

پیشنهاد شده برای دو پارامتر فوق به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شد. دامنه ضریب معدنی شدن بین ۰/۰۰۰۰۳ تا ۰/۰۰۸ در روز و ضریب دنیتریفیکاسیون بین ۰/۰۰۴ تا ۱/۰۸ در روز گزارش شده است (۱۵). عمل واسنجی با درنظر گرفتن مقدار عددی از هر دو ضریب در محدوده‌های پیشنهادی فوق و وارد نمودن آن در نرم‌افزار انجام و نتایج حاصل از آن با مقدار نیترات واقعی مقایسه شد. در صورت عدم هم‌آهنگی غلظت نیترات شبیه‌سازی شده و نیترات واقعی، با تغییر دادن اعداد ضریب معدنی و ضریب دنیتریفیکاسیون نرم‌افزار دوباره اجرا شد. مراحل فوق تا هماهنگی نتایج نیترات شبیه‌سازی با نیترات اندازه‌گیری با دقت قابل قبول تکرار شد. در نهایت ضریب معدنی برابر ۰/۰۰۰۰۸ در روز و ضریب دنیتریفیکاسیون ۰/۲ در روز پیشنهاد شد. در نهایت مقادیر کود اوره داده شده به زمین، نیتروژن گیاهی، ضریب دنیتریفیکاسیون، ضریب معدنی شدن و ضریب انتشار براساس جدول ۲ به نرم‌افزار وارد گردید. این داده‌ها براساس اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای و یا مقادیر پیشنهاد شده از سوی پژوهش‌گران انتخاب شدند (۲۳).

در خصوص صحت‌یابی نرم‌افزار از دسته معیارهای توصیف‌کننده مقادیر اختلاف مانند متوسط خطای اریبی (MBE)(Mean bias error) استفاده شد. مقادیر اختلاف در برگیرنده اختلاف در کیفیت شبیه‌سازی هستند (۸). دو معیار ضریب تعیین (R^2)(Determination Coefficient) و کارایی نرم‌افزار (EF)(Modeling efficiency) که اندازه نسبی میانگین اختلاف و تفاوت‌های نرم‌افزار با واقعیت را نشان می‌دهند نیز استفاده شد. این شاخص‌های توصیفی برای مقایسه‌سازی بین نرم‌افزارها به‌کار می‌روند و فرمول ریاضی آنها به‌صورت زیر است.

$$MBE = \sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)/n \qquad [1]$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})(P_i - \overline{P}))^2}{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})^2 (P_i - \overline{P})^2} \qquad [2]$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})^2 - \sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})^2} \qquad [3]$$

که در آنها: P_i= مقدار برآورد شده، O_i= مقدار مشاهده شده، $\overline{O}$= میانگین مقادیر مشاهده شده، $\overline{P}$= میانگین مقادیر برآورد شده و n= تعداد داده‌هاست.

ارزیابی ترسیمی بین مقادیر برآورد شده و مقادیر مشاهده شده از سطح ایستابی و مقدار نیترات موجود در آب زیرزمینی با ترسیم متناظر داده‌ها در نرم‌افزار Excel انجام شد. بر این اساس با برازش دادن یک مدل خطی، و استخراج معادله آن و محاسبه معیارهای خطا، کاربر ارزیابی جامع‌تری از نرم‌افزار مورد استفاده دارد.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول۲. داده‌های ورودی به نرم‌افزار برای شبیه‌سازی نیترات

پارامتر		واحد	مقدار	منبع
کود اوره ورودی		کیلوگرم بر هکتار	۱۶۰	اندازه‌گیری مزرعه‌ای
مقدار نیتروژن دانه		درصد	۱/۴	محاسبات مرکز کاپیک
ضریب پخشیدگی[+]		سانتی‌متر مربع بر روز	۰/۰۰۰۰۰۰۱	(اسکگز و همکاران، ۲۳)
ضریب انتشار پذیری[++]		سانتی‌متر	۵	(اسکگز و همکاران، ۲۳)
نیترات خاک	۰-۳۰	میلی‌گرم بر لیتر	۷/۶	اندازه‌گیری مزرعه‌ای
	۳۰-۶۰		۱۲/۲	اندازه‌گیری مزرعه‌ای
	۶۰-۹۰		۸/۳	اندازه‌گیری مزرعه‌ای

[+] پخشیدگی برای توصیف پراکندگی در محیط متخلخل است که معمولاً از روش بروس کلوت تعیین می‌شود.

[++] انتشارپذیری نوعی فرآیند انتقال جرم است که در آن گونه‌های مولکولی یا یونی محلول در آب تحت تأثیر جنبش حرارتی یون‌ها یا مولکولی از غلظت بیشتر به متاطق با غلظت کمتر، منتقل می‌شود.

نتایج و بحث

سطح آب زیرزمینی

نرم‌افزار پس از وارد کردن داده‌های ورودی اجرا شد. نوسانات سطح ایستابی در قطعه زراعی توسط نرم‌افزار محاسبه و نتایج با مقادیر اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه مقایسه گردید (شکل ۳ و ۴). مقدار عمق آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در طی ماه‌های خرداد، تیر و مرداد در شکل ۳ نشان داده شده است. اولین اندازه‌گیری سطح آب در زمان استقرار نشاها در تاریخ ۱۹ خرداد ۱۳۸۷ صورت گرفت و در طی فصل رشد تا ۲۸ مرداد ماه (۷۱ روز بعد از کاشت) ادامه یافت.

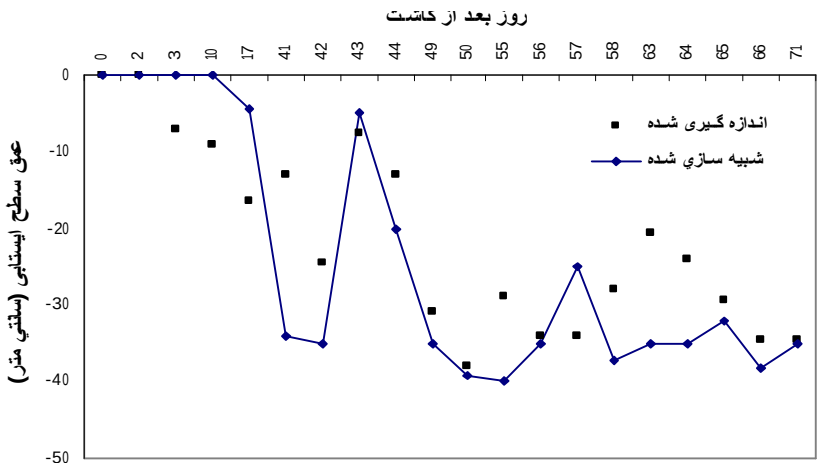
بالاترین مقدار سطح ایستابی در اوایل دوره رشد (نیمه دوم خرداد) در صفر سانتی‌متری زمین بود که نشان‌دهنده اشباع بودن ناحیه ریشه است. آبیاری، کم بودن دمای هوا و تبخیر و تعرق کم، در ماه‌های اولیه پس از کاشت بالا بودن سطح ایستابی را توجیه می‌نماید. در آخرین اندازه‌گیری سطح آب (۲۸ مرداد) به حدود ۳۵ سانتی‌متری از سطح زمین افت یافت. چون استقرار بوته‌ها با گذشت زمان کامل شده است، در نتیجه گیاه قادر به جذب آب از اعماق پایین‌تر می‌باشد. هم‌چنین مزرعه به مدت ۳۰ روز در مرحله دوم رشد یعنی توسعه گیاه و ابتدای مرحله سوم رشد یعنی تولید دانه قرار دارد که نیاز به آب بیشتر و گرمی هوا، در حصول تبخیر و تعرق حداکثر نقش دارند. با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که هر قدر از زمان کاشت نشاها می‌گذرد به‌دلیل گسترش سیستم ریشه به اعماق پایین خاک و گرم شدن هوا، فاصله سطح ایستابی نسبت به سطح زمین افزایش می‌یابد. این روند با پیر شدن برگ‌ها، در طی فصل رشد و کم شدن نیاز به آبیاری ادامه می‌یابد. در مجموع سطح ایستابی اندازه‌گیری شده دارای نوسان‌های نامنظمی است که این نوسان‌ها می‌تواند ناشی از یکسان نبودن مقدار آب آبیاری باشد. مقدار آب داده شده به زمین آزمایش که مجموع بارندگی و آبیاری است در شکل ۴ آورده شده است. مقدار آب آبیاری براساس شرایط محیطی و مراحل مختلف رشد گیاه تعیین شده بود، از این‌رو دارای روند یکسانی نبود. به همین دلیل سطح ایستابی نیز متأثر از مقدار آب آبیاری و شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه بود.

تغییرهای کمّی سطح آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده و مقادیر حاصل از اجرای نرم‌افزار برای مقایسه دو به دو به صورت برازش رگرسیونی در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج مربوط به مقایسه دو به دو، در نرم‌افزار Excel و پارامترهای ضریب همبستگی (r)، متوسط خطای اریبی (MBE) و کارایی نرم‌افزار (EF) از روابط ۳، ۴ و ۵ محاسبه شدند.

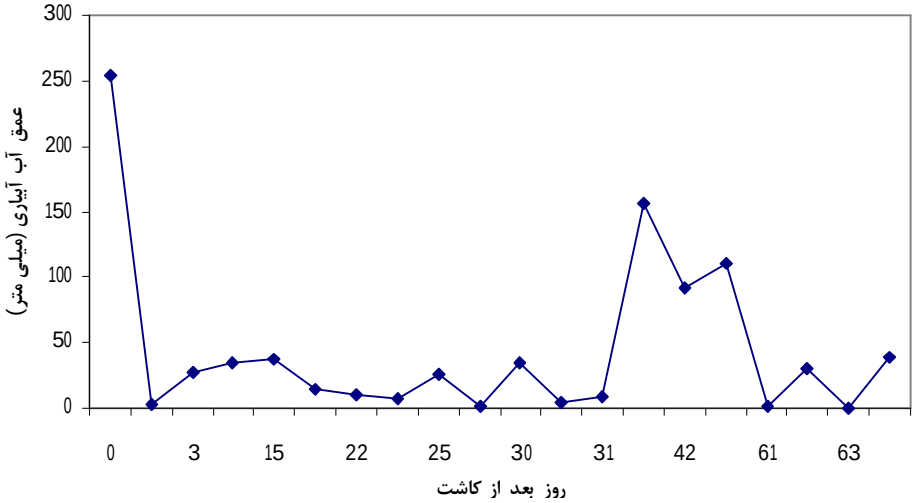
[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل ۳. نوسانات سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در کرت مورد بررسی



شکل ۴. مقادیر و زمان‌های آبیاری قطعه زراعی

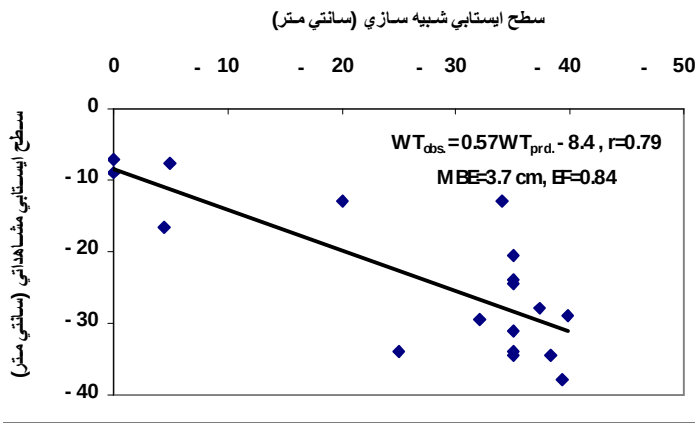
بدیهی است اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده با پیش‌بینی شده می‌تواند ناشی از داده‌های ورودی به نرم‌افزار مانند نشت عمودی و تبخیر و تعرق باشد. نشت عمودی از روش حلقه‌های مضاعف، برابر ۰/۸ سانتی‌متر در ساعت اندازه‌گیری شد و تبخیر و تعرق به روش تشت تبخیر کلاس A، ۵۳۳ میلی‌متر برآورد گردید. به‌نظر دلیل دیگر اختلاف، وجود جریان‌های ترجیحی در امتداد قائم جدار خارجی لوله پیزومتر است. برای نصب پیزومتر ابتدا با مته چاهکی حفر گردید و لوله پیزومتر در درون آن قرار گرفت، سپس اطراف لوله با خاک و به‌صورت دستی پر شد. سعی شده تا با بالا آوردن پیرامون لوله با خاک کوبیده شده از راه‌یابی جریان‌های ترجیحی جلوگیری گردد لیکن این گمان وجود دارد که آب از زیر خاک برآمده به اطراف لوله نشت کرده باشد و باعث بالا آمدن سطح آب داخل پیزومتر نسبت به سطح ایستابی در خاک شده باشد.

شکل ۵ نشان می‌دهد ضریب هم‌بستگی برابر با ۰/۶۲، متوسط خطای اریبی نرم‌افزار ۳/۷ سانتی‌متر و کارایی نرم‌افزار ۸۴ درصد است که نشان از هم‌خوانی خوب بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده دارد، هم‌چنین مقدار MBE که

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل ۵ . رابطه بین سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار

بیان‌کننده میزان کم یا زیاد برآورد کردن نرم‌افزار است نشان داد که نرم‌افزار نسبت به مقادیر واقعی فرابرآورد دارد.

غلظت نیترات

شکل ۶ روند کلی غلظت نیترات شسته شده از خاک مزرعه شالی‌کاری و شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار، پس از هر آبیاری را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، با اضافه شدن کود اوره به زمین، غلظت نیترات نیز افزایش می‌یابد و پس از مدتی روند کاهش خود را تا رسیدن به یک حد ثابتی از غلظت ادامه می‌دهد.

مقایسه روند تغییرهای غلظت نیترات (شکل ۶) با روند تغییرهای سطح ایستابی (شکل ۳) نشان می‌دهد که تغییرهای نیترات به میزان زیادی به کود داده شده وابسته است و مستقل از آب آبیاری و به تبع تغییرهای سطح ایستابی است. بیشترین مقدار غلظت نیترات در روزهای اولیه پس از کوددهی مشاهده می‌شود. تحت شرایط اشباع بخش کمی از نیترات NO_3-N تشکیل شده جذب گیاه و قسمت اعظم آن به خاطر حلالیت زیاد نیترات وارد آب زیرزمینی کم عمق زمین‌های شالیزاری مورد بررسی می‌شود که افزایش اوج غلظت را در پی دارد. شکل ۶ نشان می‌دهد که روند تغییرهای نیترات پس از افزایش اولیه به واسطه کوددهی حالت نزولی دارد. روند کاهشی غلظت نیترات مشاهده شده می‌تواند به‌دلیل وجود شرایطی از جمله بهبود رژیم رطوبتی خاک از طریق تر و خشک شدن پیوسته خاک در اثر انجام آبیاری متناوب برنج باشد. هم‌چنین شرایط مناسب خاک (جدول ۱) از نظر شوری و اسیدیته انجام فرایندهای دنیتریفیکاسیون، معدنی شدن، جذب گیاهی، فرآیند جذب سطحی خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک به دلیل رشد ریشه در خاک از جمله دلایل کاهش غلظت نیترات، خاک است (۲۲). از دلایل دیگر روند کاهشی غلظت نیترات، اشباع بودن خاک در زمین‌های شالیزاری و ریزجانداران بی‌هوازی است که سبب تغییر فرم(Immobilize) نیترات به نیتروژن آزاد طی فرایند دنیتریفیکاسیون شده است.

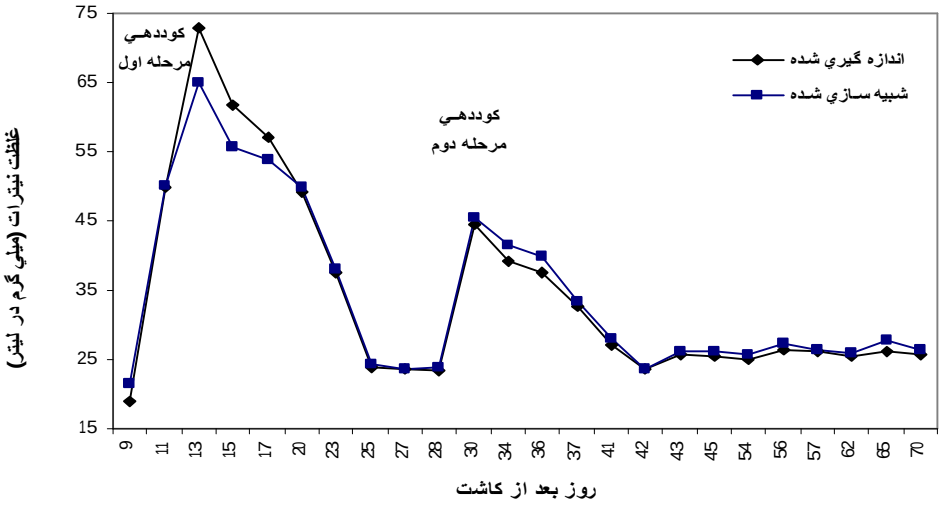
روند تغییرهای نیترات در نمونه‌های اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار از ابتدای فصل رشد در شکل ۷ ارائه شده است. شکل ۶ و ۷ نشان می‌دهد که نرم‌افزار مقدار غلظت نیترات را بیشتر از مقدار اندازه‌گیری برآورد نموده است. بالا بودن سطح ایستابی و اشباع بودن خاک سبب تشدید فرایند دنیتریفیکاسیون و در نتیجه افزایش مقدار نیترات پیش‌بینی شده نسبت به مشاهده شده می‌شود (۶).

با توجه به معیارهای ارزیابی نرم‌افزار شامل ضریب هم‌بستگی، میانگین خطای اریبی و کارآیی نرم‌افزار هماهنگی خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی سطح ایستابی و غلظت نیترات برقرار است. در ارزیابی‌های هلویگ و همکاران (۱۷) و یانگ و همکاران (۲۷) ضریب هم‌بستگی

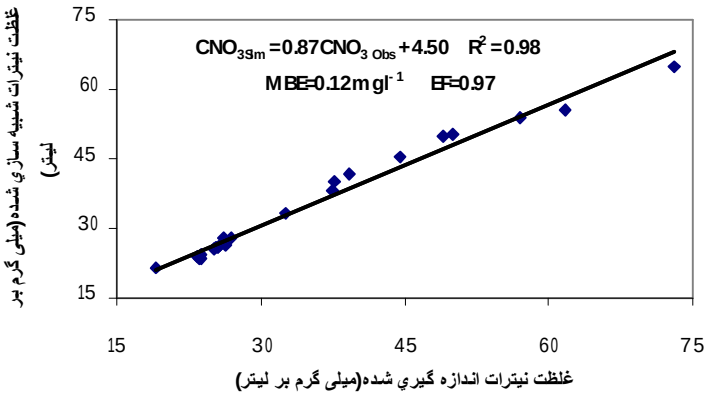
[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل ۶. روند تغییرهای غلظت نیترات اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در آب زیرزمینی کرت مورد بررسی



شکل ۷. روند تغییرهای غلظت نیترات اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در آب زیرزمینی کرت مورد بررسی

DRAINMOD-N در پیش‌بینی سطح ایستابی در محدوده ۰/۸۴ تا ۰/۴۴ و کارایی نرم‌افزار در محدوده ۰/۸۴ تا ۰/۳۵ گزارش شده است. از طرف دیگر وانگ و همکاران (۲۵) هماهنگ با برآوردهای سطح ایستابی پژوهش حاضر، مقادیر ضریب هم‌بستگی، کارایی نرم‌افزار و متوسط خطای اریبی مربوط به غلظت نیترات را به‌ترتیب بین ۰/۶۳ تا ۰/۹۲ ، ۴/۸۸- تا ۰/۹۵ و ۰/۴ تا ۰/۵ ارائه دادند. بررسی‌های آماری پژوهش حاضر براساس شکل‌های ۵ و ۷ در محدوده مقادیر وانگ و همکاران (۲۵) است که بیانگر درستی نتایج است.

نتیجه‌گیری

واسنجی نرم‌افزار DRAINMOD-N از راه مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده سطح ایستابی و غلظت نیترات مورد ارزیابی قرار گرفت. نرم‌افزار براساس داده‌های یک قطعه زمین شالی‌کاری به وسعت ۹۰۰۰ مترمربع مجهز به یک خط زه‌کش سطحی بنا نهاده شد. متوسط خطای اریبی نشان داد که نرم‌افزار برای سطح ایستابی و غلظت نیترات فرابرآورد دارد، که می‌تواند به دلیل در نظر نگرفتن پدیده صعود مویینگی باشد. این پدیده سبب می‌شود تا همراه صعود آب مقادیری از نیترات

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

هم به منطقه ریشه صعود نماید. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده غلظت نیترات و سطح ایستابی نشان داد، نرم‌افزار در شبیه‌سازی غلظت نیترات مناسب‌تر عمل کرده است. کارایی زیاد نرم‌افزار نشان داد که نرم‌افزار DRAINMOD-N برای شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی و مدیریت سطح ایستابی و سطح کوددهی در زمین‌های شالیزاری می‌تواند مفید باشد. بنابراین نرم‌افزار فوق می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی در جهت کاهش و جلوگیری از آلودگی محیط زیست در مناطق تحت آبیاری استفاده شود. پیشنهاد می‌شود تکرار شبیه‌سازی برای زمین‌های دیگر و در سال زراعی دیگر و به‌کار بستن نتایج آن در مدیریت زکودی زمین‌های کشاورزی به‌منظور کاستن آثار زیست محیطی نیترات در زمین‌های شالیزاری انجام گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. ابراهیمیان، ح. و ع. لیاقت. ۱۳۸٦. ارزیابی مدل DRAINMOD در شبیه‌سازی سطح ایستابی و شدت تخلیه زه‌کش زیرزمینی (مطالعه موردی: شبکه زه‌کشی شرکت ران بهشهر). مجله پژوهش آب ایران ۱(۱): ٦۷-۷۱.

۲. بهمنی، ا.، س. برومندنسب، م. بهزاد و ع.ع. ناصری. ۱۳۸۸. بررسی پتانسیل شستشوی نیترات و آمونیوم در پروفیل خاک تحت تأثیر کم آبیاری. مجله آبیاری و زه‌کشی ایران ۱(۳): ۳۷-٤٤.

۳. حسینی، ی.، م. همایی، ن. کریمیان و س. سعادت. ۱۳۸۷. مدل‌سازی واکنش کلزا به تنش‌های توامان شوری و کمبود نیتروژن. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲ (٤٦ ب): ۷۲۱-۷۳۵.

٤. رهبری، پ.، س.ج. جبلی و ع. لیاقت. ۱۳۸۵. شبیه‌سازی انتقال نیترات توسط مدل DRAINMOD-N. مجله کشاورزی ۸ (۱): ۲۱-۳۲.

۵. علیزاده، ا. ۱۳۸۳. *طراحی سیستم‌های آبیاری*. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

٦. کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران ۱۳۸۱. زه‌کشی، کمیت و کیفیت *جریان* برگشتی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران. صفحه ۸۹-۹۱.

۷. لیاقت، ع و ع. کاویانی. ۱۳۸٤. شبیه‌سازی حرکت آب و املاح به طرف زه‌کش‌ها با استفاده از نرم‌افزار DRAINMOD. کارگاه آموزشی مدل‌سازی در آبیاری و زه‌کشی.

۸. محسنی، م.، ع.ا. منتظر و ع. رحیمی‌خوب. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل گیاهی CropSyst در شبیه‌سازی اثر توامان آب و نیتروژن بر عملکرد و بهره‌برداری آب گندم. مجله آبیاری و زه‌کشی ایران ۱(۳): ۱۱۳-۱۳۵.

۹. نوری، ح.، ح. زارع ابیانه، ع. لیاقت و ح. نوری. ۱۳۸۷. بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری (مطالعه موردی:کاپیک)، پنجمین کارگاه زه‌کشی و محیط زیست کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران.

۱۰. یزدانی، م. ر.، م. قدسی و س.ف. موسوی. ۱۳۸٦. مقایسه نوع و فاصله زه‌کش‌های سطحی در کشت کلزا پس از زراعت برنج در رشت. مجله علوم و غنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱(۱ الف): ۱-۱۱.

11. Allen, R. G. and W. O. Pruitt. 1991. FAO-24 reference evapotranspiration factors. J. Irrig. Drain. Eng. 117(5):758–773.
12. American Society for testing and Materials. 1995. Annual book of ASTM standard. Water and environmental technology. Public Editor. Vol. 1102. Philadelphia
13. Breve, M., R.W. Skaggs, J. E. Parsons and J.W. Gilliam. 1997. DRAINMOD-N, a nitrogen model for artificially drained soils. Trans. ASAE 40(4): 1067-1075.
14. Chikowo, R., P. Mapfumo, P. Nyamugafata and K. E. Giller. 2004. Mineral N dynamics, leaching and nitrous oxide losses under maize fallowing two-year improved fallows on a sandy loam soil in Zimbabwe. Plant Soil 259: 315-330.
15. Davidson, J.M., D.A. Graetz, P. Suresh, C. Rao and H.M. Selimm. 1987. Simulation of nitrogen movement, transformations, and uptake in plant root zone. USEPA, EPA-600/3-78-029, Athens, GA.
16. Helwig, T. G., C. A. Madramootoo and G. T. Dodds. 2002. Modeling nitrate losses in drainage water using

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

DRAINMOD5.0. Agric. Water Manag. 56:153-168.
17. Helwig, T.G., C.A. Madramootoo and G.T. Dodds. 2002. Modeling nitrate losses in drainage water using DRAINMOD5.0. Agric. Water Manag. 56:153-168.
18. Mosier, A.R., J.K. Syers and Freney, J.R. (Eds.), 2004. Agriculture and the nitrogen cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on food production and environment. SCOPE, Nr. 65, Island Press, Washington, DC.
19. Mansouri, A. and Lurie, A.A. 1993. Concise review: methemoglobinemia. Amer. J. Hematol. 42: 7-12. NRC. 1978. Nitrates: An environmental assessment. Report 0-309-02785-3. National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, DC.
20. Ng, H.Y.F. and C. F. Drury. 1999. Modeling and testing of the effect of tillage, cropping and water management practices on nitrate leaching in clay loam soil. Agric. Water Manag. 43: 111-113.
21. Sadek, A. E. J. Feyen and R. Ragab. 2002. Simulation of nitrogen balance of maize field under different drainage strategies using the DRAINMOD-N model. J. Irrig Drain. Eng. 51(1): 61-75.
22. Singh, M., A.K., Bhattacharya, T.V.R. Nair and A.K. Singh. 2002. Nitrogen loss through subsurface drainage effluent in coastal rice field from India. Agric. Water Manag. 52:249-260.
23. Skaggs, R. 1980. DRAINMOD reference report. Methods for design and evaluation of drainage water management systems for soils with high water tables. USDA, SCS. North Carolina State University, Raleigh, P.185.
24. Wahba, M.A.S., M. El-Ganainny, M.S. Abdel-Dayem, H. Kandil and A. Gobran. 2002. Evaluation of DRAINMOD-S for simulating water table management under semi-arid conditions. J. Irrig. Drain. Eng. 51: 213-216.
25. Wang, X., C.T. Mosley, J. R. Frankenberger and E.J. Kladivko. 2006. Subsurface drain flow and crop yield predictions for different drain spacing using DRAINMOD. Agric. Water Manag. 79: 113–136.
26. Xing, G.X. and Z.L. Zhu. 2000. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in china. Nutr. Cycli Agroecosys. 57: 67-73.
27. Yang, C.C., S. O. Prasher, S. Wang, S.H. Kim, C.H. Tan, C. Drury and R. M. Patel. 2007. Simulation of nitrate-N movement in southern Ontario, Canada with DRAINMOD-N. Agric. Water Manag. 87: 299-306.
28. Zhao, S.L., D.R. Huggins and J.F. Moncrief. 2000. Predicting subsurface drainage, corn yield, and nitrate losses with DRAINMOD-N. J. Environ. Qual. 29: 817-825.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.57.5.7]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com